ORTAÖĞRETİM

FİZİK

12

DERS KİTABI

YAZARLAR

Adnan KADEROĞLU
Necdet KAYA
Veysel Emrah KARAASLAN
Yusuf Serhat KOÇ

DEVLET KİTAPLARI
İKİNCİ BASKI
........................., 2019

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI ....: 6734
DERS KİTAPLARI DİZİSİ ....: 1775

Her hakkı saklıdır ve Millî Eğitim Bakanlığına aittir. Kitabın metin, soru ve şekilleri kısmen de olsa hiçbir surette alınıp yayımlanamaz.

HAZIRLAYANLAR

EDİTÖR

Veysel Emrah KARAASLAN

DİL UZMANI

Kemal BATMAZ
Mustafa YEŞİLKAYA

GÖRSEL TASARIM UZMANI

Adem GÜNEŞ
Esra ÇALHAN
Kadir KAHRAMAN
Selahattin ÇEKCEN

ISBN 978-975-11-4614-4

Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulunun 28.05.2018 gün ve 78 sayılı kararı ile ders kitabı olarak kabul edilmiş, Destek Hizmetleri Genel Müdürlüğünün 28.05.2019 gün ve 10443977 sayılı yazısı ile ikinci defa 72.790 adet basılmıştır.



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

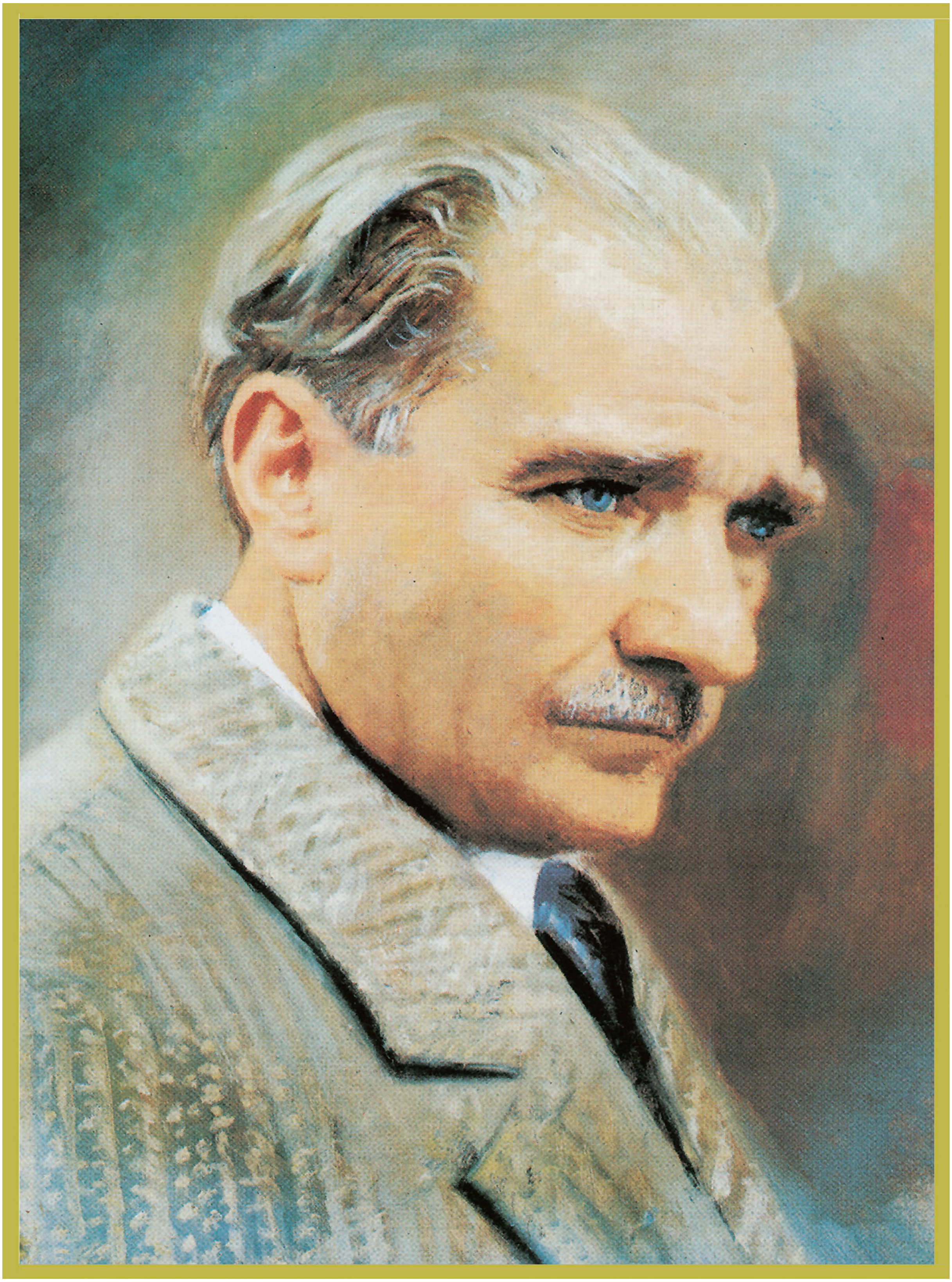
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK



1. ÜNİTE



2. ÜNİTE



3. ÜNİTE



4. ÜNİTE



5. ÜNİTE



6. ÜNİTE

Ünite karekodu gösterir.

Ünite adını gösterir.



Ünite numarasını gösterir.

Ünite giriş yazısını gösterir.

Ünitede yer alan bölüm başlıklarını ve sırasını gösterir.

Bölüm numarasını gösterir.

Bölüm adını gösterir.

Bölümde geçen anahtar kavramları gösterir.

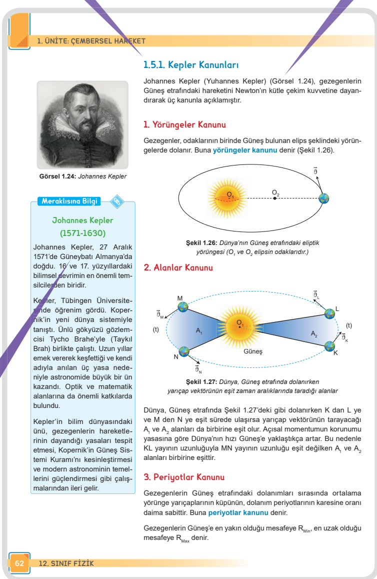


Bölümde yer alan konu başlıklarını gösterir.

Bölüm giriş yazısını gösterir.

Ünite, bölüm ve konu numarasını gösterir.

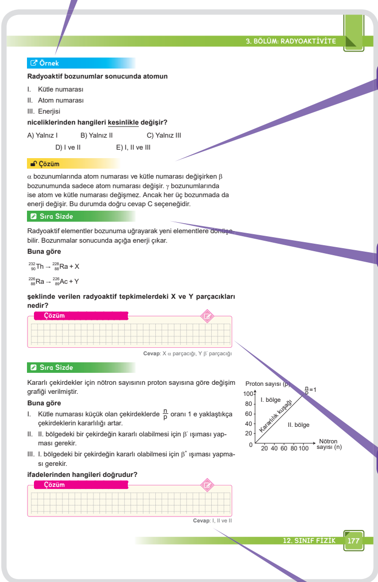
Konu anlatımını gösterir.



Konuyla ilgili merak uyandıran bilgileri gösterir.

Örnek soruyu gösterir.

Örnek soru çözümünü gösterir.

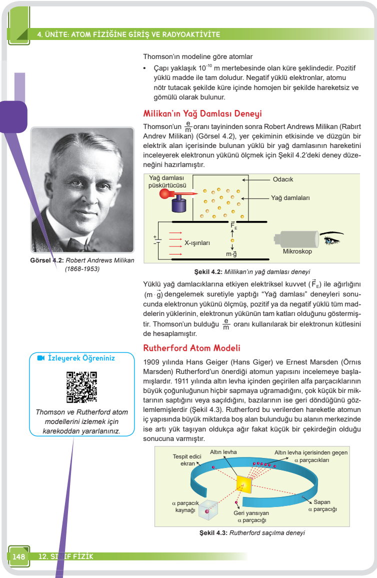


Sıra sizde sorusunu gösterir.

Sıra sizde sorusunun çözümü için ayrılmış çözüm alanını gösterir.

Sıra sizde sorusunun cevabını gösterir.

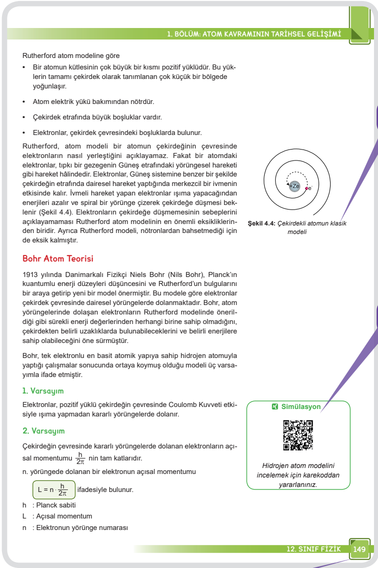
Görsel künyesini gösterir.



Konuyla ilgili videolara ulaşmak için gerekli karekodu gösterir.

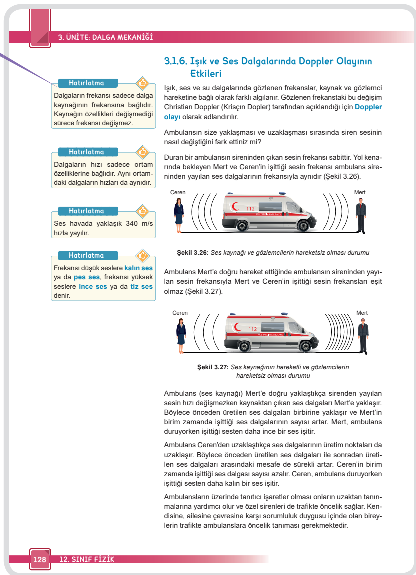
Şekil künyesini gösterir.

Konuyla ilgili simülasyona ulaşmak için gerekli karekodu gösterir.

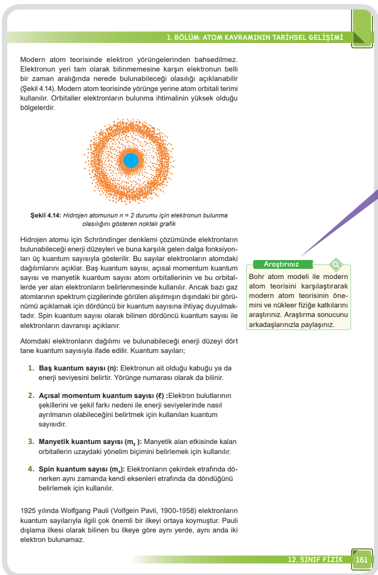


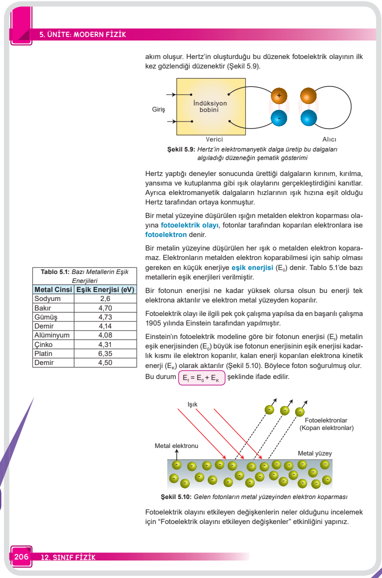
Sayfa numarasını gösterir.

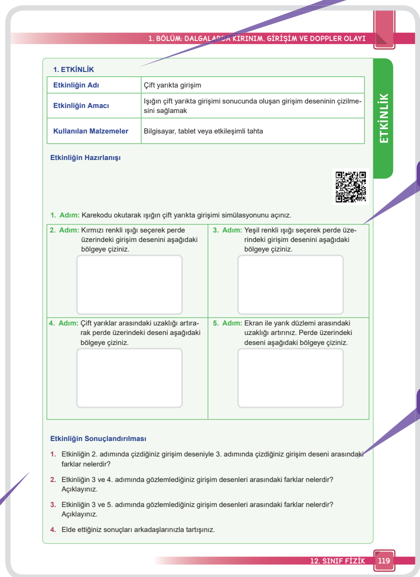
Konuyla ilgili hatırlatmaları gösterir.



Araştırma yapılacak konu ve açıklamaları gösterir.







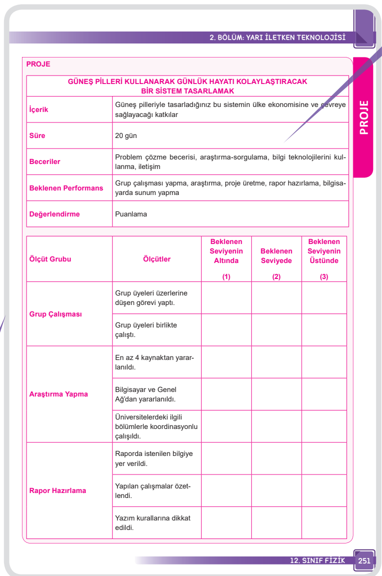
Yapılacak etkinliğin adı, amacı ve kullanılacak araçları gösterir.

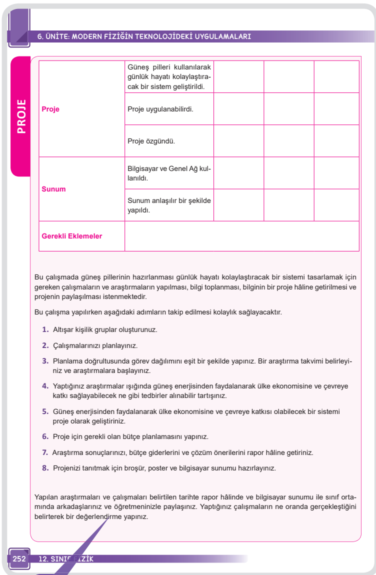
Etkinliğin hazırlanış basamaklarını gösterir.

Etkinliğin yapılış basamaklarını gösterir.

Konuyla ilgili verilerin yer aldığı tabloyu gösterir.

Etkinliğin sonucuna yönelik soruları gösterir.



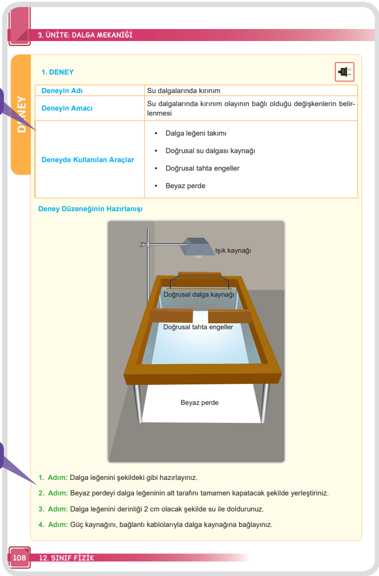


Hazırlanacak olan projenin içerik, süre, beceriler kısmını gösterir.

Projenin ölçme kısmını gösterir.

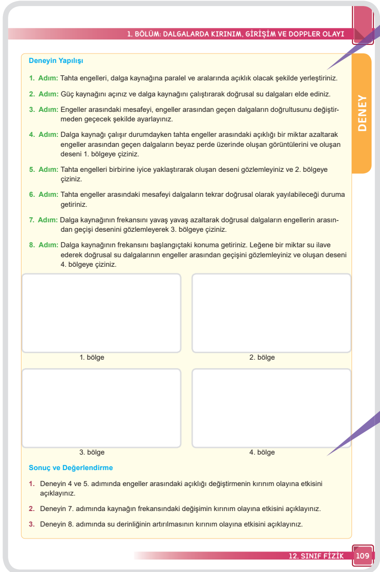
Projenin yönergesini gösterir.

Yapılacak deneyin adı, amacı ve kullanılacak araçları gösterir.



Yapılacak deneyin hazırlanışını gösterir.

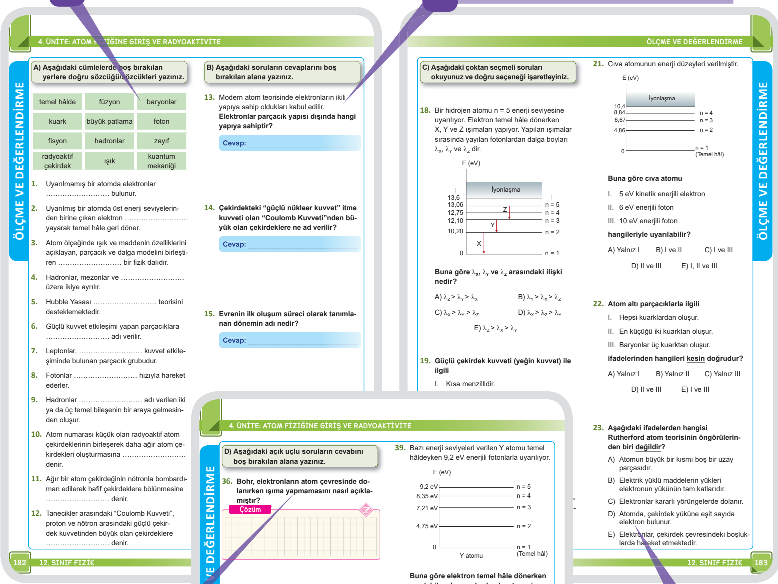
Yapılacak deneyin basamaklarını gösterir.

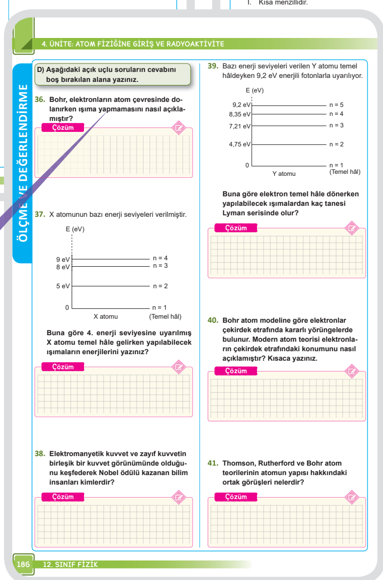


Deneyin sonucuna yönelik soruları gösterir.

Ölçme ve değerlendirmede boşluk doldurma sorularını gösterir.

Ölçme ve değerlendirmede kısa cevaplı soruları gösterir.

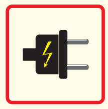
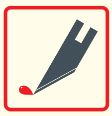




Ölçme ve değerlendirmede çoktan seçmeli soruları gösterir.

Ölçme ve değerlendirmede açık uçlu soruları gösterir.

GÜVENLİK İŞARETLERİ

	**Isı Güvenliği** Isıya dayanıklı eldiven kullanılmalıdır.		**Elektrik Güvenliği** Elektrik şehir hattından alınmalı, güç kaynağı kullanırken iletken kısımlara dokunulmamalıdır.
	**Göz Güvenliği** Koruyucu gözlük ve maske kullanılarak yüz ve gözler tehlikelere karşı korunmalıdır.		**Kırılabilir Cam Güvenliği** Laboratuvar malzemeleri kırılarak size ve çevrenize zarar verebilir. Bu malzemeleri kullanırken dikkatli olunmalıdır.
	**Kesici/Delici Cisim Güvenliği** Yaralanmalara yol açabileceğinden kesici ve delici araç-gereçler kullanılırken dikkatli olunmalıdır.		**LASER Işını** Yapılacak işlemlerde LASER ışığının göze tutulmaması gerektiğini belirtir.
	**Sağlık Tehlikesi** Alerjik deri reaksiyonlarına neden olabileceğinden vücut ve gözle temas ettirilmemeli, koruyucu giysi giyilmelidir.		**Radyoaktif** Radyasyona neden olur. Canlı dokularına kalıcı hasar veren kanserojen etki yapar. Bu işaretin bulunduğu yerlerden uzak durulmalıdır.
	**Korozif (Aşındırıcı)** Metalleri ve canlı dokuları aşındırabileceğinden canlı dokuları ve araç-gereçleri korumak için önlemler alınmalıdır.		**Oksitleyici, Yanıcı Madde** Havasız ortamda bile yanabilir. Yanabilen maddelerle karıştırılırsa patlayabilir. Tutuşturucularla teması önlenmelidir.
	**Toksik (Zehirli) Madde Güvenliği** Vücut ile temas ettirilmemelidir. Zehirlenme belirtileri görüldüğünde tıbbi yardım alınmalıdır.		**Patlayıcı Madde** Kıvılcım, ısınma, alev, vurma, çarpma ve sürtünmeye maruz kaldığında patlayabilir. Ateş, kıvılcım ve ısıdan uzak tutulmalıdır.
	**Parlayıcı Madde ve Yüksek Isı** Yangın çıkmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.		**Zararlı veya Tahriş Edici** Alerjik deri reaksiyonlarına neden olur. Ozon tabakasına zarar verebilir. Vücuda ve göze temasından kaçınılmalıdır. Koruyucu giysi giyilmelidir.

1. ÜNİTE

ÇEMBERSEL HAREKET



Bu ünitede, düzgün çembersel hareket açıklanarak bu hareketin gerçekleşmesini sağlayan merkezcil kuvvetin bağlı olduğu değişkenler verilecektir. Düzgün çembersel hareket yapan cisimlerin hareketleri analiz edilerek araçların yatay, düşey ve eğimli zeminlerde emniyetli dönüş şartları üzerinde durulacaktır.

Öteleme ve dönme hareketleri karşılaştırılarak eylemsizlik momenti kavramı açıklanacaktır. Dönme ve dönerek öteleme hareketi yapan cisimlerin kinetik enerjilerinin bağlı olduğu değişkenler verilecektir.

Fiziksel bir nicelik olan açısal momentum kavramı açıklanacak, bu kavram çizgisel momentum ve torkla ilişkilendirilecektir. Açısal momentumun korunumuna yönelik günlük hayat örnekleri üzerinde durulacaktır.

Kütle çekim kuvvetinin bağlı olduğu değişkenler verilerek kütle çekim potansiyel enerjisi açıklanacaktır.

1. BÖLÜM

DÜZGÜN ÇEMBERSEL HAREKET

Konular

Anahtar Kavramlar

- Çizgisel hız
- Açısal hız
- Merkezcil kuvvet
- Merkezcil ivme

- **Düzgün doğrusal hareket yapan bir cisme hız vektörü doğrultusunda bir kuvvet uygulandığında cismin hareketinde nasıl bir değişiklik meydana gelir?**
- **Bu kuvvet aynı cisme, hareket düzlemine paralel ve hız vektörüne dik olarak uygulansaydı cismin hareketi bu durumdan nasıl etkilenirdi?**

Bu bölümde, düzgün çembersel hareket ile ilgili kavramlar verilerek merkezcil kuvvetin bağlı olduğu değişkenler arasındaki ilişki belirlenecektir. Yatay ve düşey düzlemde çembersel hareket yapan cisimlere ait serbest cisim diyagramları çizilerek, virajlarda emniyetli dönüş şartları üzerinde durulacaktır.



1.1.1. Düzgün Çembersel Hareket Nedir?



Görsel 1.1: *Dönme dolap*



Görsel 1.2: *Döner kavşak*

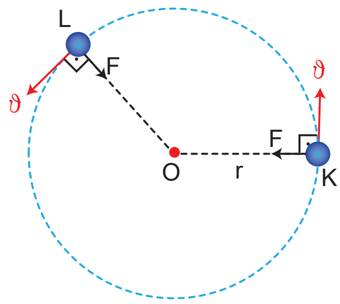
Dönme hareketi denilince akla birçok örnek gelir. Lunaparktaki bir dönme dolabın hareketi (Görsel 1.1), döner kavşağın çevresindeki araçların yaptığı hareket (Görsel 1.2), saatin akrep ve yelkovanı ile tekerleğin hareketi, elektronların çekirdek çevresindeki dolanımı, Dünya'nın Güneş, Ay'ın Dünya çevresindeki dönüş hareketleri gibi... Ancak her dönme hareketinin bir düzgün çembersel hareket olmadığını bilmek gerekir.

Bir hareketlinin sabit bir eksen etrafında, eşit zaman aralıklarında eşit yollar almasına ya da sabit bir nokta etrafında, sabit büyüklükte bir hızla dönmesine **düzgün çembersel hareket** denir.

Düzgün çembersel hareket kavramının öğrenilmesi; uyduların, gezegenlerin ve atom çekirdeği çevresindeki elektronların hareketlerinin anlaşılmasına yardımcı olur.

Düzgün Çembersel Hareketle İlgili Kavramlar

Bir cismin düzgün çembersel hareket yapabilmesi için cisme, yönü sürekli merkeze doğru ve büyüklüğü değişmeyen bir kuvvet uygulanmalıdır. O merkezli çembersel bir yörüngede dolanan cisim, yörüngesi üzerindeki K ve L noktalarından geçerken cisme etki eden F büyüklüğündeki kuvvetin gösterimi Şekil 1.1'deki gibidir.



Şekil 1.1: *Çembersel hareket yapan cisim*

Belirli zaman aralıklarında kendini tekrarlayan hareketlere **periyodik hareket** denir. Dönme, titreşim veya düzgün çembersel hareket yapan cisimlerin hareketleri de periyodik harekete örnek olarak verilebilir.

Düzgün çembersel hareketin kavramları aşağıda verilmiştir.

Periyot (T)

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin yörünge üzerinde bir tam tur dönebilmesi için geçen süreye **periyot** denir. Periyot T sembolüyle gösterilir, skaler bir büyüklüktür. SI (Uluslararası Birim Sistemi)'da birimi saniyedir (s).

Frekans (f)

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin birim zamandaki (1 saniye) tur sayısına **frekans** denir. Frekans f sembolüyle gösterilir, skaler bir büyüklüktür. SI'da birimi Hertz'dir (Hz). s^{-1} ile de ifade edilir.

Periyot ile frekans arasındaki ilişki $T \cdot f = 1$ dir.

Örnek

Bir arabanın CD çaları sabit hızla 1 dakikada 180 devir yapmaktadır.

Bu CD çaların frekansını ve periyodunu hesaplayınız.

Çözüm

1 dakika 60 saniyedir. CD çalar

60 saniyede — 180 devir yaparsa
1 saniyede — f devir yapar.

$f = \frac{180}{60} = 3s^{-1}$ olur.

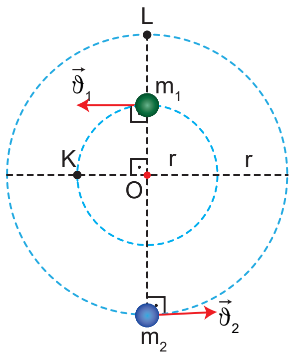
$T \cdot f = 1$ bağıntısından

$3 \cdot T = 1$

$T = \frac{1}{3}$ s bulunur.

Sıra Sizde - 1

r ve 2r yarıçaplı yörüngelerde sabit büyüklükte hızlarla dolanan m_1 ve m_2 kütleli cisimler verilen konum ve yönlerden aynı anda geçtikten t süre sonra m_1 kütleli cisim K noktasından, m_2 kütleli cisim de L noktasından geçmektedir.



m_1 kütleli cismin dolanım periyodu T_1, m_2 kütleli cismin dolanım periyodu T_2 olduğuna göre $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır?

Çözüm

Çizgisel Hız ($\vec{\vartheta}$)

Çembersel hareket yapan bir cismin yörüngesi üzerinde sahip olduğu hıza **çizgisel hız** denir. Çizgisel hız yörüngeye daima teğettir. Çizgisel hız $\vec{\vartheta}$ sembolüyle gösterilir, vektörel bir büyüklüktür. SI'da birimi $\frac{m}{s}$ dir.

Doğrusal bir yolda sabit ϑ büyüklüğünde hızla hareket eden cismin t sürede aldığı yol $x = \vartheta \cdot t$ ifadesiyle bulunur.

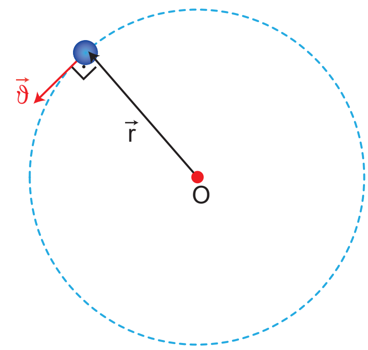
Düzgün çembersel hareket yapan cisim bir periyotluk sürede r yarıçaplı çemberin çevresi kadar yol alır. Aldığı yol $x = 2\pi \cdot r$ olur. Bu durumda

$2\pi \cdot r = \vartheta \cdot T$ olur. Buradan ϑ çekilirse çembersel harekette çizgisel hızın büyüklüğünü veren $\vartheta = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$ bağıntısı elde edilir.

$T = \dfrac{1}{f}$ ifadesi, bulunan hız bağıntısında yerine yazılırsa çizgisel hızın frekansa bağlı ifadesi

$\vartheta = 2\pi \cdot r \cdot f$ olarak bulunur.

Cismin herhangi bir andaki konumuna hareketin merkezinden çizilen vektöre **yarıçap vektörü** denir. Yarıçap vektörü $\vec{r}$ sembolüyle gösterilir. Düzgün çembersel harekette konum vektörü yarıçap vektörüdür (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: *Düzgün çembersel hareket yapan cismin çizgisel hızının ve yarıçap vektörünün gösterimi*

Açısal Hız ($\vec{\omega}$)

Düzgün çembersel hareket yapan cismin yarıçap vektörünün birim zamanda taradığı açının radyan cinsinden değerine **açısal hız** denir. Açısal hız $\vec{\omega}$ sembolüyle gösterilir, vektörel bir büyüklüktür. SI'da birimi $\dfrac{rad}{s}$ dir.

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin konum vektörü bir periyotluk sürede 2π radyan açı tarar. Bu nedenle açısal hızın büyüklüğü

$\omega = \dfrac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$ bağıntısıyla bulunur.

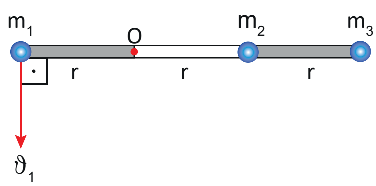
$\vartheta = \dfrac{2\pi}{T} \cdot r$ çizgisel hız denkleminde $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ yerine yazılırsa

$\vartheta = \omega \cdot r$ bağıntısı ile bulunur.

Bu bağıntı çizgisel hızla açısal hız arasındaki ilişkiyi verir.

Örnek

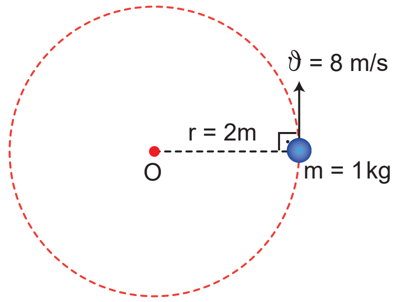
Ağırlığı önemsiz eşit bölmeli bir çubuk, O noktasından geçen eksen etrafında sabit büyüklükte açısal hızla ok yönünde döndürülmektedir.



Buna göre çubuk üzerinde sabitlenmiş m_1, m_2 ve m_3 kütleli cisimlerin çizgisel ve açısal hızlarının büyüklüklerini karşılaştırınız.

Çözüm

Cisimler aynı çubuk üzerinde birlikte döndükleri için periyotları ve frekansları eşittir. Aynı sürede eşit açı taradıklarından açısal hızları eşit olur ($\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$). Ancak çizgisel hızlarının büyüklükleri O noktasına uzaklıklarına bağlı olduğu için hızları farklıdır. Dönme eksenine uzak olanın çizgisel hızı da büyüktür. Buradan $\vartheta_3 > \vartheta_2 = \vartheta_1$ sonucuna ulaşılır.



Örnek

O noktası etrafında 1 kg kütleli bir cisim 8 $\frac{m}{s}$ sabit büyüklükte bir hızla düzgün çembersel hareket yapmaktadır.

Buna göre

a) **Cismin periyodu kaç saniyedir?**

b) **Cismin frekansı kaç s^{-1} dir?**

c) **Cismin açısal hızı kaç $\frac{rad}{s}$ dir?**
(π = 3 alınız.)

Çözüm

a) Cismin çizgisel hızı $\vartheta = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ dir.

Buradan T çekilirse $T = \frac{2\pi \cdot r}{\vartheta}$ olur.

$T = \frac{2\pi \cdot r}{\vartheta} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 2}{8} = \frac{3}{2}$ s bulunur.

b) T · f = 1 ifadesinde T yerine yazılırsa

$\frac{3}{2} \cdot f = 1$ den $f = \frac{2}{3}\, s^{-1}$ bulunur.

c) Açısal hız $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ifadesinde periyot yerine yazılırsa

$\omega = \frac{2 \cdot 3}{\frac{3}{2}} = \frac{2 \cdot \cancel{3}}{\frac{\cancel{3}}{2}} = 2 \cdot 2 = 4\, \frac{rad}{s}$ bulunur.

Merkezcil İvme ($\vec{a}$)

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin hareketi sırasında hızının büyüklüğü değişmezken yönü sürekli değişir. Bu hız değişiminden kaynaklanan ve yönü daima hareketin yörünge merkezine doğru olan ivmeye **merkezcil ivme** denir.

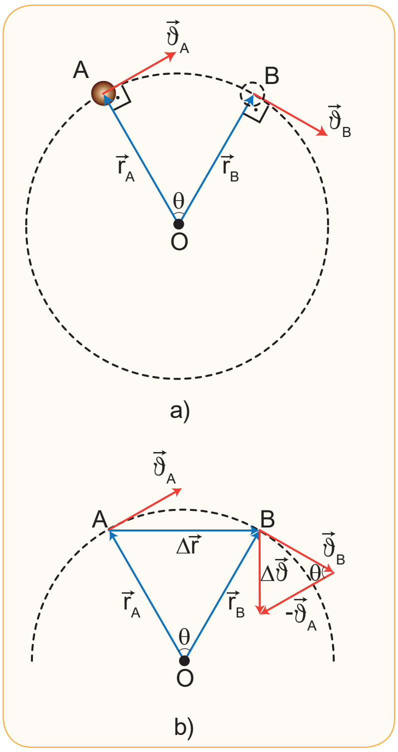
O merkezli yörüngede düzgün çembersel hareket yapan cisim, Δt sürede A noktasından B noktasına geldiğinde cismin hızındaki değişim $\Delta\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_B - \vec{\vartheta}_A$, konumundaki değişim $\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$ olur (Şekil 1.3: a).

Cismin A ve B noktalarındaki hızlarının büyüklükleri için $|\vec{\vartheta}_A| = |\vec{\vartheta}_B| = \vartheta$ konum vektörlerinin büyüklükleri için $|\vec{r}_A| = |\vec{r}_B| = r$ olmak üzere Şekil 1.3: b'deki ikizkenar üçgenlerin benzerliğinden $\frac{\Delta\vartheta}{\vartheta} = \frac{\Delta r}{r}$ yazılır. Buradan $\Delta\vartheta$ ifadesi çekilip $a = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t}$ bağıntısında yerine yazılırsa

$a = \frac{\vartheta \cdot \Delta r}{\Delta t \cdot r}$ olur.

$\vartheta = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ yerine yazıldığında merkezcil ivmenin büyüklüğünü veren

$a_{Merkezcil} = \frac{\vartheta^2}{r} = \omega^2 \cdot r$ bağıntısına ulaşılır.

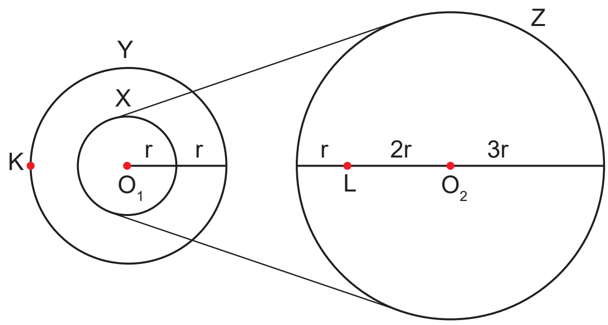


Şekil 1.3: *a) Düzgün çembersel hareket yapan cismin A ve B noktalarından geçerken yarıçap ve hız vektörleri b) Düzgün çembersel hareket yapan cismin hızındaki ve konumundaki değişim*

Merkezcil ivmenin birimi SI'da $\frac{m}{s^2}$ dir. Vektörel bir büyüklüktür. Merkezcil ivme ile yarıçap vektörü aynı doğrultuda olmasına rağmen zıt yönlü olmalarından

$\vec{a}_{Merkezcil} = -\omega^2 \cdot \vec{r}$ şeklinde ifade edilir.

Örnek



Eş merkezli X ve Y kasnakları ile Z kasnağı O_1 ve O_2 merkezlerinden geçen eksen etrafında serbestçe dönebilmektedir. Y kasnağı üzerindeki K noktasıyla Z kasnağı üzerindeki L noktasının merkezcil ivmelerinin büyüklükleri sırasıyla a_K ve a_L dir.

Buna göre $\frac{a_K}{a_L}$ oranı nedir?

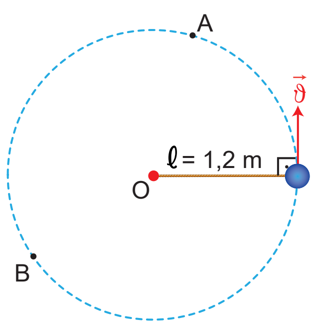
Çözüm

Z kasnağı bir tur dönerse X kasnağı 3 tur döner. X ve Y kasnakları eş merkezli olduğundan tur sayıları aynıdır. Dolayısıyla tur sayıları ile açısal hızları doğru orantılıdır. Z kasnağının açısal hızı $\omega_Z = \omega$ kabul edilirse X ve Y kasnaklarının açısal hızları $\omega_Y = \omega_X = 3\omega$ olur. Buradan

$$\frac{a_K}{a_L} = \frac{\omega_K^2 \cdot 2r}{\omega_L^2 \cdot 2r} = \frac{(3\omega)^2 \cdot 2r}{(\omega)^2 \cdot 2r} = 9 \text{ bulunur.}$$

Sıra Sizde - 2

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde 1,2 m uzunluğundaki ipin ucuna bağlı cisme düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.



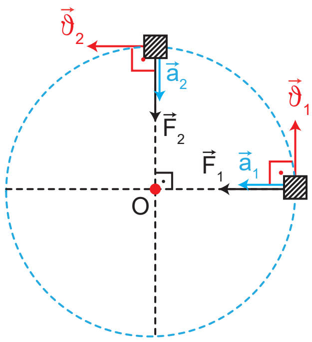
Cismin hareket periyodu 12 s olduğuna göre

a) **Cisim yörüngesi üzerindeki A ve B noktalarından geçerken hız ve ivme vektörlerinin yönlerini çiziniz.**

b) **Cismin merkezcil ivmesinin büyüklüğünü hesaplayınız.** ($\pi = 3$ alınız.)

Çözüm

1.1.2. Düzgün Çembersel Harekette Merkezcil Kuvvetin Bağlı Olduğu Değişkenler



Şekil 1.4: *Düzgün çembersel harekette merkezcil ivme ve merkezcil kuvvetin gösterimi*

Sabit büyüklükteki hızla ($|\vec{\vartheta}_1| = |\vec{\vartheta}_2|$) çembersel yörüngede hareket eden cismin (Şekil 1.4) hız vektörünün yönü sürekli değişir. Bu değişimden sabit büyüklükte ve yönü daima hareketin merkezine doğru bir ivme meydana gelir ($|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2|$). İvmenin varlığı, yönü ivme vektörüyle aynı yönde sabit büyüklükte ($|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$) bir net kuvvet olduğunu gösterir. Yönü hareketin merkezine doğru ve daima hız vektörüne dik bu net kuvvete **merkezcil kuvvet** denir. Merkezcil kuvvet $\vec{F}_{Merkezcil}$ sembolüyle gösterilir.

Newton'ın ikinci hareket yasasına göre m kütleli cisme etki eden net kuvvet $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ifadesiyle bulunur.

Bu bağıntıda merkezcil ivme ifadesi $a = \omega^2 \cdot r = \frac{\vartheta^2}{r}$ yerine yazılırsa merkezcil kuvvetin büyüklüğünü veren ifade

$$F_{Merkezcil} = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$$

şeklinde bulunur.

Merkezcil kuvvet ($\vec{F}$), konum vektörü ($\vec{r}$) ile zıt yönlü olduğundan

$$\vec{F}_{Merkezcil} = -m \cdot \omega^2 \cdot \vec{r}$$

bağıntısı yazılır.

Merkezcil kuvvetin bağlı olduğu değişkenleri daha iyi anlayabilmek için "Merkezcil kuvvet" deneyini yapınız.

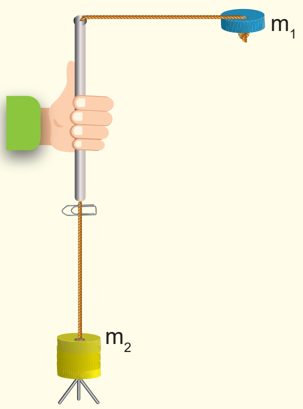
DENEY

1. DENEY

Deneyin Adı	Merkezcil kuvvet
Deneyin Amacı	Düzgün çembersel harekette merkezcil kuvvetin bağlı olduğu değişkenleri kavramak
Deneyde Kullanılan Araçlar	• Kronometre • Terazi • Merkezcil kuvvet takımı (esnemeyen ip, ataş, metal boru, kendi içlerinde özdeş m_1 ve m_2 kütleli metal pullar)

Deney Düzeneğinin Hazırlanışı

Esnemeyen ipi metal borudan geçirerek m_1 kütleli 1 adet pulu ipin üstteki ucuna, m_2 kütleli 4 adet pulu ipin alttaki ucuna, atacı da şekildeki gibi borunun altındaki ipe takınız. Deney düzeneğini hazırladıktan sonra aşağıdaki adımları sırasıyla uygulayınız.



DENEY

Deneyin Yapılışı

1. Adım: m_1 kütleli cismin bağlı olduğu ipi, borunun üst ucundan 60 cm olacak şekilde ayarlayarak ataşı takınız. İpin alt ucuna toplamda 4 adet m_2 kütleli metal pulu takınız. m_1 kütleli cisme ölçülebilir bir hızla düzgün çembersel hareket yaptırınız. 5 tur için geçen zamanı kronometreyle ölçünüz. Ölçülen süreyi tur sayısına bölerek bulduğunuz periyot değerini Tablo 1'de yerine yazınız. Yarıçap ve m_1 kütleli cismi sabit tutarak m_2 kütleli pul sayısını 9 tane olacak şekilde bağlayarak deneyi tekrarlayınız. Ölçülen periyot değerini Tablo 1'de yerine yazınız.

Tablo 1: *Merkezcil Kuvvetin Periyoda Bağlı Değişimi*

Pul sayısına göre ağırlık ($m_2 \cdot g$)	T (s)	T^2 (s^2)
4 adet metal pul		
9 adet metal pul		

2. Adım: Yarıçapı ve periyodu sabit tutarak m_1 kütleli pul sayısını sırasıyla 1, 2 ve 3 tane olacak şekilde artırınız. m_1 kütleli pul sayısındaki artışa karşılık sistemi dengeleyen m_2 kütleli pul sayılarını belirleyiniz ve Tablo 2'yi doldurunuz.

Tablo 2: *Merkezcil Kuvvetin Kütleye Bağlı Değişimi*

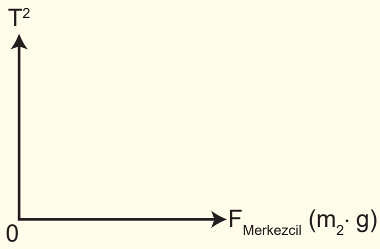
Çembersel hareket yaptırılan cismin kütlesine göre (m_1)	($m_2 \cdot g$)
1 adet m_1	
2 adet m_1	
3 adet m_1	

3. Adım: m_1 kütleli pul sayısını ve hareketin periyodunu sabit tutarak m_1 kütleli pulun yörünge yarıçapını artırınız. Aynı işlemleri yarıçapı 80 cm ve 1 metre olacak şekilde değiştirip deneyi tekrarlayarak Tablo 3'ü doldurunuz.

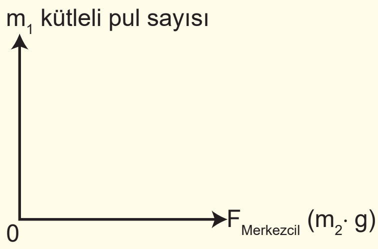
Tablo 3: *Merkezcil Kuvvetin Yarıçapa Bağlı Değişimi*

r (m) yörünge yarıçapı	m_2 kütleli pul sayısı
0,8	
1	

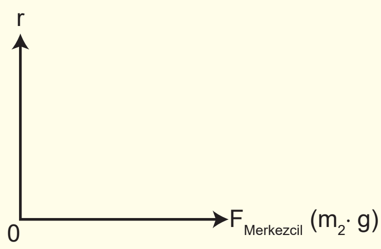
Tablo 1, 2 ve 3'te bulunan değerleri kullanarak aşağıdaki grafikleri çiziniz.



Tablo 1 için



Tablo 2 için



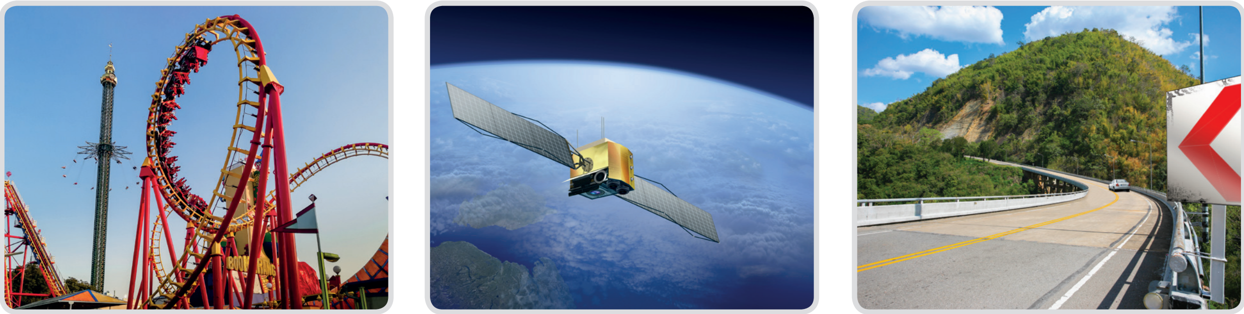
Tablo 3 için

Sonuç ve değerlendirme

1. Çizdiğiniz merkezcil kuvvetin periyodun karesine bağlı değişim grafiğine göre merkezcil kuvvet ile periyodun karesi arasındaki ilişki nedir? Açıklayınız.
2. Çizdiğiniz merkezcil kuvvetin m_1 kütleli pul sayısına bağlı değişim grafiğine göre merkezcil kuvvet ile m_1 kütleli pul sayısı arasında nasıl bir ilişki vardır? Açıklayınız.
3. Çizdiğiniz merkezcil kuvvetin yarıçapa bağlı değişim grafiğine göre merkezcil kuvvet ile yarıçap arasında nasıl bir ilişki vardır? Açıklayınız.

1.1.3. Düzgün Çembersel Hareket Yapan Cisimlerin Hareketi

Lunaparklardaki eğlence treninin çembersel bir yörünge izlemesi, Dünya çevresinde Ay ve yapay uyduların yörüngelerinde dolanımına devam etmesi, yatay yolda virajı dönen bir aracın virajı güvenle dönebilmesi gibi olayların nedeni merkezcil kuvvettir (Görsel 1.3: a, b, c).

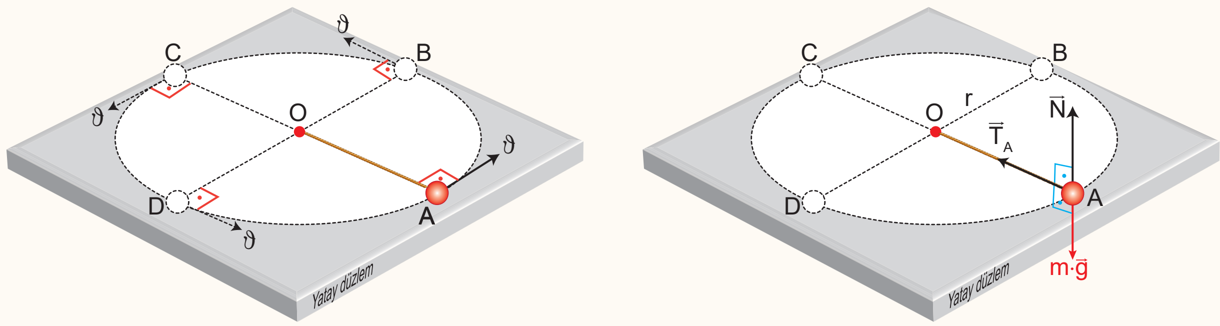


a) *b)* *c)*

Görsel 1.3: *Merkezcil kuvvet örnekleri: a) Eğlence treni b) Yapay uydu c) Yatay virajı dönen araç*

Merkezcil kuvvet yeni bir kuvvet çeşidi değildir. Merkezcil kuvvet, çembersel yörüngede hareket eden cisme, hareketin merkezine doğru etki eden ve hız vektörüne dik olan net kuvvetin adıdır.

A) Yatay Düzlemde Düzgün Çembersel Hareket



a) *b)*

Şekil 1.5: *a) Sürtünmesiz yatay düzlemde çembersel yörüngede dönen cisim*
b) A noktasındaki cismin serbest cisim diyagramı

Sürtünmenin önemsiz olduğu yatay bir düzlemde r uzunluğundaki bir ipin ucuna bağlı m kütleli cisme ϑ büyüklüğünde sabit bir hızla çembersel hareket yaptırılsın (Şekil 1.5: a). Cismin A noktasından geçişi sırasında cisme etki eden kuvvetlerin gösterildiği serbest cisim diyagramı Şekil 1.5: b'deki gibidir.

$\vec{N}$: Yatay düzlemin tepki kuvveti

$m \cdot \vec{g}$: Yer çekimi kuvveti

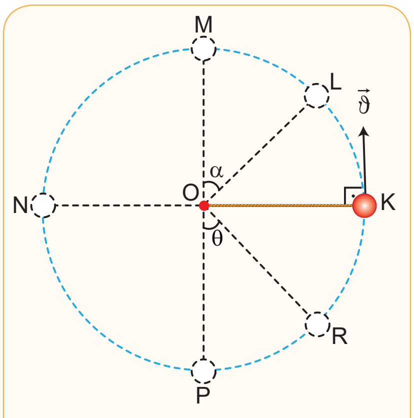
$\vec{T}_A$: İpte meydana gelen gerilme kuvveti

Araştırınız

Günlük hayatta karşılaştığınız sebebi merkezcil kuvvet olan hareket örneklerini araştırınız. Sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.

Cisim A noktasından geçerken yatay düzlemin tepki kuvveti yer çekimi kuvvetine eşittir. İpte meydana gelen gerilme kuvveti de cismi, hareketin yörünge merkezine doğru çeken merkezcil kuvvettir. Bu nedenle ipte oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü $T_A = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$ dir.

Sürtünmesiz yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yapan bu cisme A, B, C ve D noktalarından geçerken etki eden ip gerilmeleri eşit büyüklüktedir.



Şekil 1.6: *a) Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cisim*

B) Düşey Düzlemde Düzgün Çembersel Hareket

Bir ipin ucuna bağlı ve düşey düzlemde çembersel hareket yapan cisme (Şekil 1.6: a), yörüngesi üzerinde seçilen noktalardan geçerken serbest cisim diyagramları Şekil 1.6: b'de verilmiştir. Bu noktalarda cisme etki eden merkezcil kuvvetler incelenirse

- Cisim K noktasından geçerken cismi, hareketin merkezine doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü $F_{Net} = T_K$ ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğüne eşittir. Çembersel yörüngede cisme hareketin merkezine doğru etki eden net kuvvet aynı zamanda merkezcil kuvvet olduğundan $F_{Merkezcil} = T_K$ olur.

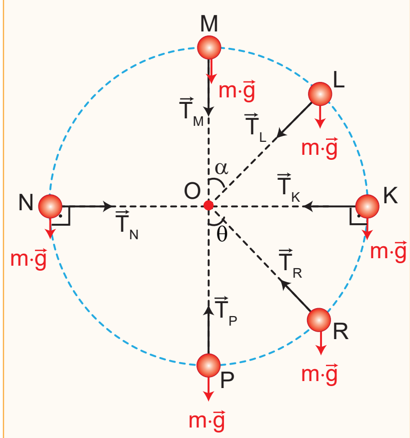
- Cisim L noktasından geçerken cismi, hareketin merkezine doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü $F_{Net} = T_L + m \cdot g \cdot \cos\alpha$ dır (Şekil 1.6: c). $\vec{F}_{Net} = \vec{F}_{Merkezcil}$ olduğundan merkezcil kuvvetin büyüklüğü $F_{Merkezcil} = T_L + m \cdot g \cdot \cos\alpha$ dır.

- Cisim M noktasından geçerken cismi, merkeze doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü bir başka ifadeyle merkezcil kuvvetin büyüklüğü $F_{Merkezcil} = T_M + m \cdot g$ dir. Cisim bu noktadan geçerken ipte oluşan gerilme kuvveti en küçük değerini alır.

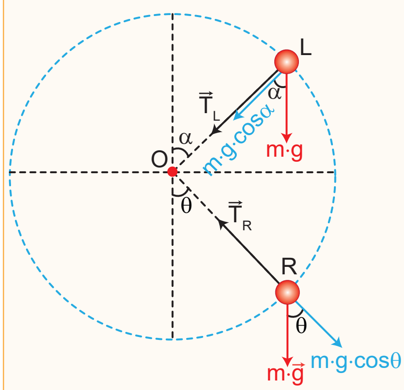
- Cisim N noktasından geçerken cismi, merkeze doğru çeken net kuvvet K noktasında olduğu gibi sadece ip gerilmesine eşittir. $F_{Merkezcil} = T_N$ dir.

- Cisim P noktasından geçerken cismi, merkeze doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü $F_{Net} = T_P - m \cdot g$ olur. Bu nedenle merkezcil kuvvetin büyüklüğü $F_{Merkezcil} = T_P - m \cdot g$ dir. Bu noktadan geçerken ipteki gerilim kuvveti en büyük değerini alır.

- Cisim R noktasından geçerken cismi, merkeze doğru çeken net kuvvet $F_{Net} = T_R - m \cdot g \cdot \cos\alpha$ dır (Şekil 1.6: c). $F_{Merkezcil} = T_R - m \cdot g \cdot \cos\alpha$ olur.



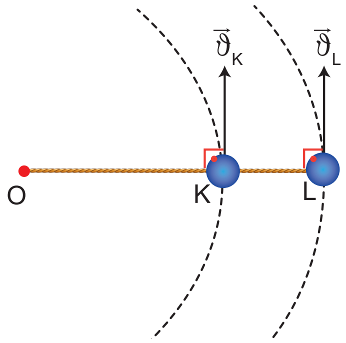
Şekil 1.6: *b) Cismin yörüngesi üzerindeki bazı noktalarda serbest cisim diyagramları*



Şekil 1.6: *c) L ve R noktalarında ağırlığın ip doğrultusundaki bileşenleri*

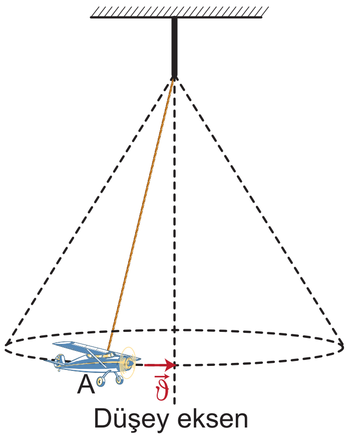
Sıra Sizde - 3

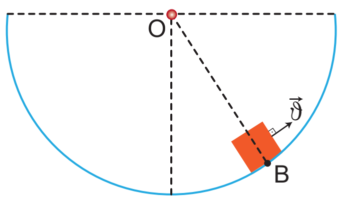
Sürtünmelerin önemsiz olduğu düzlemlerde çembersel hareket yapan cisimlerin şekillerde verilen konumlardan geçerken serbest cisim diyagramlarını kare düzlemlerine çizerek gösteriniz.



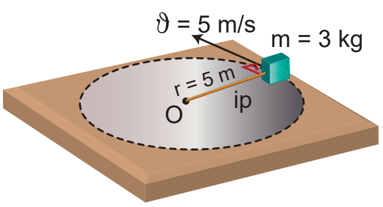
K cismine etki eden

L cismine etki eden





Örnek



3 kg kütleli bir cisim, sürtünmesiz yatay düzlemde 5 m uzunluğundaki ipin ucuna bağlanarak sabit büyüklükteki 5 m/s'lik hızla O noktası etrafında düzgün çembersel hareket yaptırılmaktadır.

Buna göre ipteki gerilme kuvveti kaç N'dır?

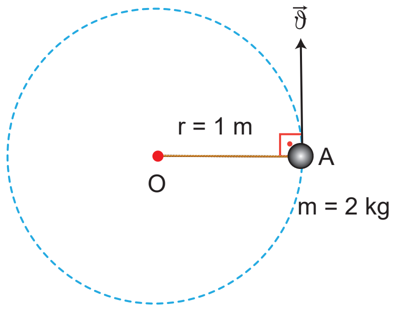
Çözüm

Yatay düzlemde çembersel hareket yapan cisimlerde ip gerilmesi merkezcil kuvvettir. Buna göre

$$T = F_{Merkezcil} = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r} = 3 \cdot \frac{25}{5} = \frac{75}{5} = 15\,N \text{ bulunur.}$$

Örnek

1 m uzunluğundaki ipin ucuna bağlanmış 2 kg kütleli cisme O merkezli sürtünmesiz yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yaptırılıyor. Cisim dakikada 20 tur attığına göre



a) **Cismin periyot ve frekansını bulunuz.**

b) **Cismin A noktasından geçtikten 1 s sonraki yer değiştirmesini bulunuz.**

c) **Cismin çizgisel ve açısal hızlarını hesaplayınız.**

ç) **İpte meydana gelen gerilme kuvvetinin büyüklüğünü bulunuz.** (π = 3 alınız.)

Çözüm

a) Cismin bir saniyede attığı tur sayısına frekans denildiği ifade edilmişti. Buradan cismin frekansı (f)

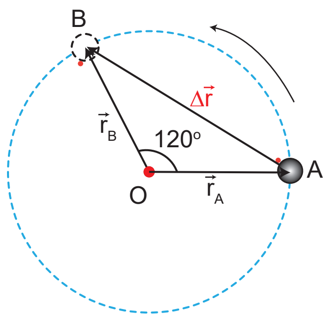
60 s — 20 tur atarsa
1 s — f kadar tur atar.

$60 \cdot f = 20$

$f = \frac{1}{3}\ s^{-1}$ bulunur.

$f \cdot T = 1$ olduğundan periyot $T = \frac{1}{f}$ den $T = \frac{1}{\frac{1}{3}} = 3$ s'dir.

b) Yarıçap vektörü bir turu (360° lik açı) 3 saniyede taradığına göre yarıçap vektörünün 1 saniyede taradığı açı



3 s — 360° tararsa
1 s — θ kadar açı tarar.

$3\theta = 360°$

$\theta = 120°$ dir.

Yarıçap vektörü 120° lik açı taradığında cisim, A noktasından B noktasına ulaşmış olsun. Cismin yer değiştirmesi $\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$ dır.

$\vec{r}_A$ ve $\vec{r}_B$ nin büyüklüğü 1 m olduğuna göre $\Delta\vec{r}$ nin büyüklüğü

$\Delta r = \sqrt{3}$ m olur.

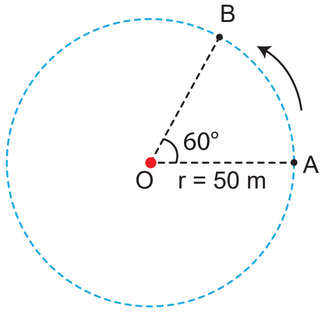
c) Çizgisel hız $\vartheta = \frac{2\pi \cdot r}{T} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 1}{3} = 2\ \frac{m}{s}$

Açısal hız $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \cdot 3}{3} = 2\ \frac{rad}{s}$ dir.

ç) Herhangi bir noktadan geçerken cismi hareketin merkezine doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü, ipte meydana gelen gerilme kuvvetine eşittir.

Bir başka ifadeyle $T = F_M = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$ dir. $T = 2 \cdot \frac{2^2}{1} = 8$ N bulunur.

Örnek



Yarıçapı 50 m olan çembersel bir pistte sabit büyüklükte hızla koşan koşucu ok yönünde hareket ederek A noktasından B noktasına 10 saniyede ulaşıyor.

Buna göre

a) **Koşucunun çizgisel hızının büyüklüğü kaç $\frac{m}{s}$ dir?**

b) **Koşucunun A ve B noktaları arasındaki yer değiştirmesi kaç metredir?**

c) **Koşucunun A ve B noktaları arasındaki çizgisel hız değişiminin büyüklüğü kaç $\frac{m}{s}$ dir?**

ç) **Koşucuyu etkileyen merkezcil ivmenin büyüklüğü kaç $\frac{m}{s^2}$ dir?**

(π = 3 alınız.)

Çözüm

a) Koşucu, A dan B ye 60º lik yayı 10 saniyede koştuğuna göre koşucunun periyodu

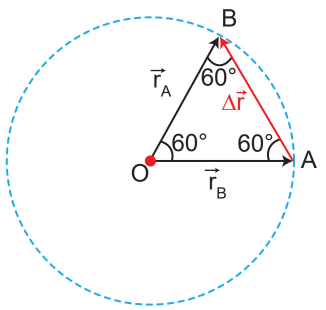
60º — 10 s de

360º — T s de

$60° \cdot T = 10 \cdot 360°$

$T = \frac{360}{6} = 60$ saniyedir.

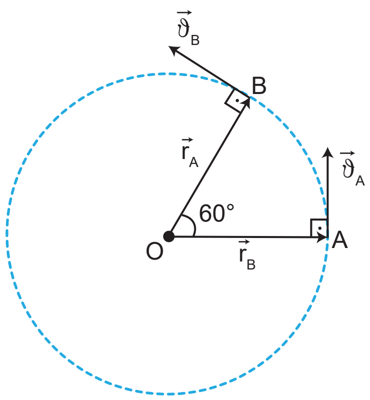
$\vartheta = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 50}{60} = 5\ \frac{m}{s}$ bulunur.

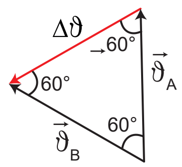


b) $\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$ dır.

Bu ifade sonucunda kenar uzunluğu r kadar olan eşkenar üçgen oluşur. $|\Delta\vec{r}| = |\vec{r}_A| = |\vec{r}_B|$ dir. Yarıçap 50 m olduğuna göre Δr = 50 m bulunur.

c) Hız vektörü daima konum vektörüne diktir.





$\Delta\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_B - \vec{\vartheta}_A$ daha önceden çizgisel hızın büyüklüğü $5\ \frac{m}{s}$ bulunmuştu. Buradan

$|\Delta\vec{\vartheta}| = |\Delta\vec{\vartheta}_A| = |\vec{\vartheta}_B| = 5\ \frac{m}{s}$ bulunur.

ç) Merkezcil ivme formülünden $a = \frac{\vartheta^2}{r} = \frac{5^2}{50} = \frac{1}{2}\ \frac{m}{s^2}$ bulunur.

1.1.4. Yatay, Düşey ve Eğimli Zeminlerde Araçların Emniyetli Dönüş Şartları

Kara yollarında virajlardan hemen önce hız limiti levhası yerleştirilmesinin sebebi nedir (Görsel 1.4)?

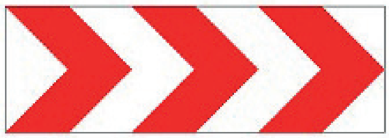


Görsel 1.4: *Sağa tehlikeli viraj ve uyarı levhaları*



Görsel 1.5: *a) Sola tehlikeli viraj levhası*

Kara yollarındaki trafik uyarı levhaları sürücülere yolun özellikleri ve uyulması gereken hız limitleri hakkında bilgiler vermektedir. Sola tehlikeli viraj levhası, yolun sola dönen bir kısmına yaklaşıldığını gösterirken (Görsel 1.5: a) sağa tehlikeli viraj yön levhası ise görüş mesafesi kısa, yarıçapı dar olan sağa doğru viraja yaklaşıldığı bilgisini verir (Görsel 1.5: b).

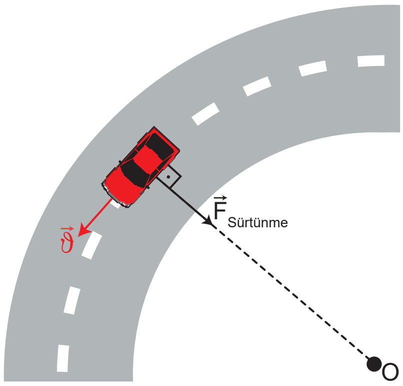


Görsel 1.5: *b) Sağa tehlikeli viraj yön levhası*

Yatay Virajda Hareket

Bir araç virajı dönerken araca, virajın merkezine doğru merkezcil bir kuvvet etki eder (Şekil 1.7).

Araç, viraja girdiğinde aracın hareketine dik doğrultuda ve tekerlekler ile zemin arasında ve yönü virajın merkezine doğru olan bir sürtünme kuvveti oluşur. Aracın virajı güvenle dönebilmesi için merkezcil kuvvet, statik sürtünme kuvvetinin en büyük değerinden küçük ya da bu değere eşit olmalıdır.



Şekil 1.7: *Yatay virajı dönen araba*

$$F_{\text{Sürtünme}} \geq F_{\text{Merkezcil}}$$

$$k \cdot m \cdot g \geq m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$$

eşitliğinden aracın virajı güvenle dönebilmesi için gereken hız

$$\vartheta \leq \sqrt{k \cdot g \cdot r}$$ dir.

Aracın hızı sınır değerden büyükse araç virajda savrulur. Bağıntıda yer alan

k : Yüzeyle aracın tekerlekleri arasındaki sürtünme katsayısı

g : Yer çekim ivmesi

r : Virajın yarıçapıdır.

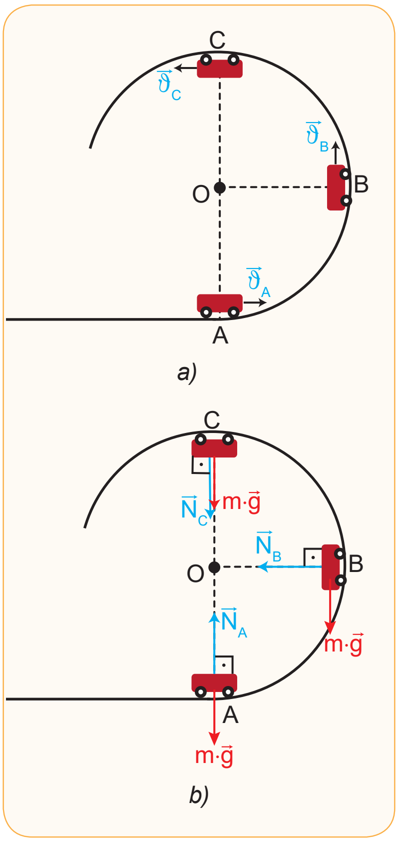
Düşey Virajda Hareket

Roller coasterın (Rolır kostır) düşey virajı güvenle dönebilmesi için viraja belirli bir hız büyüklüğüyle girmesi gerekir (Görsel 1.6).



Görsel 1.6: *Roller coaster sistemi*

Kütlesi m olan bir araç düşey virajda hareket ederken (Şekil 1.8: a) aracın yörüngesi üzerinde seçilen noktalardan geçişi sırasında etki eden kuvvetlerin gösterildiği serbest cisim diyagramı Şekil 1.8: b'deki gibidir.



Şekil 1.8: *a) Düşey virajı dönen araba b) Düşey virajı dönen arabanın seçilen noktalardan geçerken serbest cisim diyagramları*

Araç, A noktasından $\vec{\vartheta}_A$ hızıyla geçerken virajın merkezine doğru araca etki eden net kuvvetin (merkezcil kuvvet) büyüklüğü, araca etki eden tepki kuvvetiyle yer çekimi kuvvetinin büyüklüklerinin farkına eşittir.

$$F_{Net} = F_{Merkezcil} = N_A - m \cdot g$$

Araç, B noktasından $\vec{\vartheta}_B$ hızıyla geçerken merkeze doğru etki eden net kuvvetin büyüklüğü, yüzeyin tepki kuvvetinin büyüklüğüne eşittir.

$$F_{Net} = F_{Merkezcil} = N_B \text{ dir.}$$

Araç, C noktasından $\vec{\vartheta}_C$ hızıyla geçerken aracı virajın merkezine doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü, araca etki eden yer çekimi kuvvetiyle yüzeyin tepki kuvvetinin büyüklüklerinin toplamına eşit olduğundan

$$F_{Net} = F_{Merkezcil} = N_C + m \cdot g \text{ dir.}$$

Aracın C noktasından geçerken güvenli dönüş yapabilmesi için merkezcil kuvvetin büyüklüğü, en az yer çekimi kuvvetinin büyüklüğüne eşit olmalıdır.

$$F_{Merkezcil} = m \cdot g$$

$m \cdot \dfrac{\vartheta^2}{r} = m \cdot g$ eşitliğinden aracın güvenli dönüş yapabilmesi için gerekli olan en düşük hız değeri

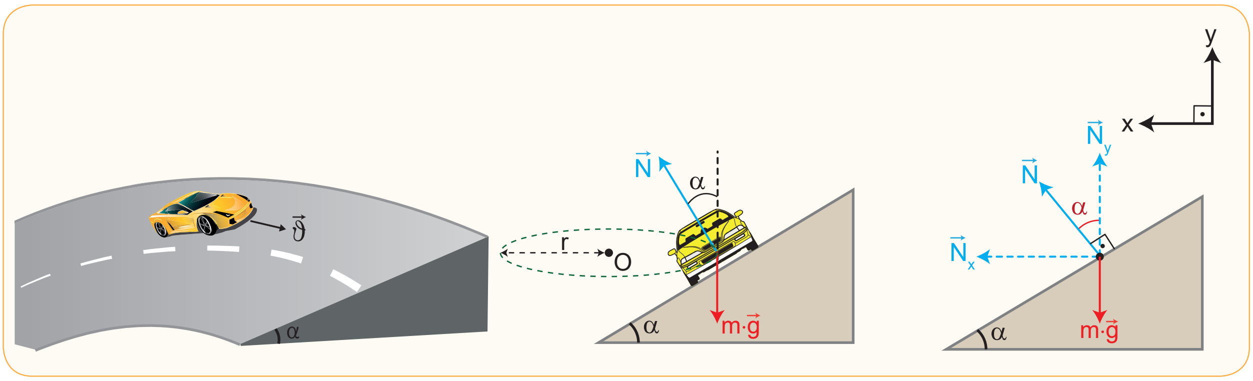
$\vartheta = \sqrt{g \cdot r}$ olarak bulunur.

Eğimli Virajda Hareket

Otomobillerin eğimli bir virajı güvenle dönebilmesi için gerekli olan en küçük hız değeri nasıl bulunur (Görsel 1.7)?



Görsel 1.7: *Eğimli virajı dönen otomobiller*



Şekil 1.9: *a) Sürtünmesiz eğimli virajda hareket eden araç*

Şekil 1.9: *b) Aracın serbest cisim diyagramı*

Şekil 1.9: *c) Araca etki eden kuvvetlerin x-y eksenindeki bileşenleri*

Ağırlığı $m\cdot\vec{g}$ kadar olan bir araç, sürtünmesiz eğimli virajı ϑ büyüklüğünde hızla dönerken (Şekil 1.9: a) aracın yatay eksende çizdiği çembersel yörüngenin yarıçapı r olsun. Araç, virajı dönerken Şekil 1.9: b'deki serbest cisim diyagramında görüldüğü gibi yüzeyin gösterdiği tepki kuvvetinin ve kendi ağırlığının etkisinde kalır. Aracın virajı dönebilmesi için merkeze yönelen bir merkezcil kuvvet olmalıdır. Bu kuvvet Şekil 1.9: c'de gösterildiği gibi hareketin merkezine yönelen tepki kuvvetinin x eksenindeki bileşenidir. Bu nedenle merkezcil kuvvet tepki kuvvetinin x eksenindeki bileşeni N_x e eşittir. N_y ise aracın ağırlığına eşit olur.

$$N_x = N\cdot\sin\alpha = F_{Merkezcil}$$

$$N_y = N\cdot\cos\alpha = m\cdot g \text{ dir.}$$

İki denklem oranlanırsa

$$\frac{\cancel{N}\cdot\sin\alpha}{\cancel{N}\cdot\cos\alpha} = \frac{F_{Merkezcil}}{m\cdot g}$$

$$\tan\alpha = \frac{F_{Merkezcil}}{m\cdot g} \text{ den } F_{Merkezcil} = m\cdot g\cdot\tan\alpha \text{ olur.}$$

Aracın eğimli virajı dönebilmesi için gerekli hız

$m \cdot \frac{\vartheta^2}{r} = m \cdot g \cdot \tan\alpha$ dan $\vartheta = \sqrt{g \cdot r \cdot \tan\alpha}$ ifadesiyle bulunur.

Viraj, yatay ya da eğimli olduğunda virajın güvenle dönülebilmesi için gerekli hız limitlerine uyulmalıdır. Aracın hızı güvenli hız limitine düşürülmediğinde hakimiyeti yitirilir. Bu durumda hem sürücünün hem de trafikteki yayaların güvenliği tehlikeye atılmış olur.

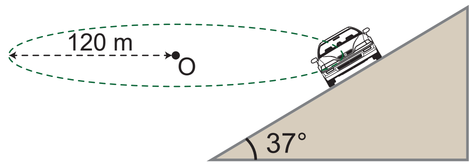
Sıra Sizde - 4

Otomobil yarışlarında araçların savrulmadan virajlara daha hızlı girebilmesi için neler yapılabilir? Açıklayınız.

Çözüm

Örnek

Dik kesiti verilen sürtünmesi önemsiz eğimli viraja giren aracın izlediği çembersel yörüngenin yarıçapı 120 metredir.



Aracın virajı güvenle dönebilmesi için viraja girmesi gereken hızın büyüklüğü en fazla kaç $\frac{m}{s}$ olmalıdır?

($\sin37^\circ = 0{,}6$; $\cos37^\circ = 0{,}8$ ve $g = 10\frac{N}{kg}$)

Çözüm

Aracın virajı güvenle dönebilmesi için gerekli en büyük hız değeri

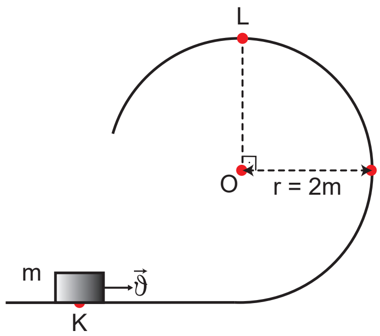
$\vartheta = \sqrt{g \cdot r \cdot \tan\alpha}$ ile bulunur.

$\tan 37^\circ = \frac{\sin 37^\circ}{\cos 37^\circ} = \frac{0{,}6}{0{,}8} = \frac{3}{4}$ tür.

$\vartheta = \sqrt{10 \cdot 120 \cdot \frac{3}{4}} = 30\ \frac{m}{s}$ bulunur.

Örnek

m kütleli bir cisim, sürtünmesi önemsiz ray üzerindeki K noktasından ϑ büyüklüğünde bir hızla atılıyor.



Cisim, yarıçapı r = 2 m olan çembersel yörünge üzerindeki L noktasından ancak geçebildiğine göre ϑ kaç $\frac{m}{s}$ dir? (g = 10 $\frac{N}{kg}$)

Çözüm

Cismin L noktasından geçerken hızının büyüklüğü ϑ_L olsun. L noktasından ancak geçebilmesi için bu noktada yüzeyin tepki kuvvetinin sıfır olması gerekir. Bu durumda merkezcil kuvvetin büyüklüğü yer çekimi kuvvetinin büyüklüğüne eşittir.

$$m \cdot \frac{\vartheta_L^2}{r} = m \cdot g$$

$$\vartheta_L = \sqrt{g \cdot r} \text{ den}$$

$$\vartheta_L = \sqrt{10 \cdot 2} = \sqrt{20}\ \frac{m}{s} \text{ olur.}$$

Enerjinin korunumuna göre K ve L noktalarında m kütleli cismin sahip olduğu toplam enerji eşittir. Bu eşitlikten

$$\frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2 = \frac{1}{2} m \cdot \vartheta_L^2 + m \cdot g \cdot 2r$$

$$\frac{\vartheta^2}{2} = \frac{20}{2} + 10 \cdot 2 \cdot 2$$

$$\vartheta^2 = 100$$

$$\vartheta = 10\ \frac{m}{s} \text{ bulunur.}$$

Sıra Sizde - 5

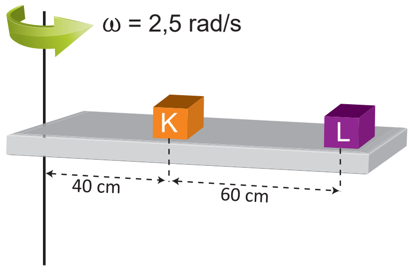
250 cm uzunluğundaki bir ipin ucuna bağlanan m kütleli bir cisme düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yaptırılmak isteniyor.

Cismin düzgün çembersel hareket yapabilmesi için sahip olması gereken en küçük hız değeri kaç $\frac{m}{s}$ olmalıdır? (g = 10 $\frac{N}{kg}$)

Çözüm

Örnek

Sürtünme katsayısı k = 0,5 olan sürtünmeli tabla, düşey eksen etrafında $\omega = 2{,}5\ \frac{rad}{s}$ lik açısal hızla şekildeki gibi döndürülmektedir.



Buna göre tabla üzerine bırakılmış m kütleli türdeş K ve L cisimlerinin hareketleri için ne söylenebilir? $(g = 10\ \frac{N}{kg})$

Çözüm

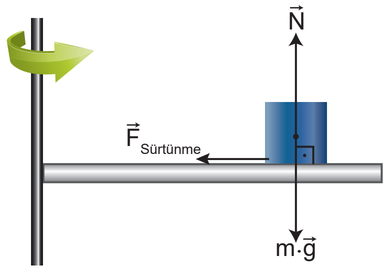
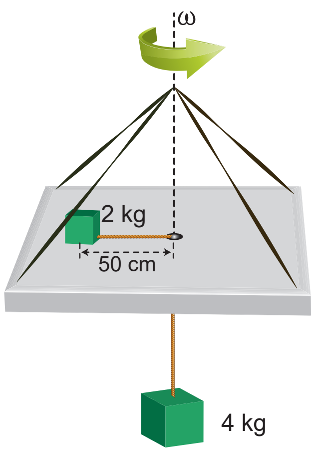


Tabla üzerine bırakılan herhangi bir cismin kaymadan dönebilmesi için cisme etki eden merkezcil kuvvet, cisimle yatay düzlem arasındaki sürtünme kuvvetine eşit ya da statik sürtünme kuvvetinin en büyük değerinden küçük olmalıdır. Tabla üzerine bırakılan cismin $2{,}5\ \frac{rad}{s}$ lik çembersel hareket yapabilmesi için öncelikle sahip olması gereken en büyük yarıçapı hesaplanmalıdır.

$$F_{Sürtünme} = k \cdot N = k \cdot m \cdot g$$
$$F_{Sürtünme} \geq F_M$$
$$k \cdot \cancel{m} \cdot g \geq \cancel{m} \cdot \omega^2 \cdot r$$
$$0{,}5 \cdot 10 \geq 2{,}5^2 \cdot r$$
$$5 \geq 6{,}25 \cdot r$$
$$\frac{5}{6{,}25} \geq r$$
$$\frac{20}{25} \geq r$$
$$0{,}8\ m \geq r \text{ olmalıdır.}$$

Buradan anlaşılan tabla üzerindeki cisimlerin kaymadan düzgün çembersel hareket yapabilmesi için yörünge yarıçapları en fazla 80 cm olmalıdır.

K cismi kaymadan düzgün çembersel hareketine devam ederken L cisminin yarıçapı 100 cm olduğu için cisim dışa doğru kayar.



Örnek

Sürtünme katsayısı 0,5 olan şekildeki tabla, düşey eksen etrafında ω açısal hızıyla döndürülüyor. Tabla üzerinde 2 kg kütleli cisim, kaymadan dönerken aynı zamanda ipin diğer ucundaki 4 kg kütleli cismi dengelemektedir.

Buna göre cisimlerin dengede kalabilmesi için tablanın açısal hızı en fazla kaç $\frac{rad}{s}$ olmalıdır? $(g = 10\ \frac{N}{kg})$

Çözüm

4 kg kütleli cisim dengede olduğuna göre ipteki gerilme kuvveti T = 40 N'dır. Açısal hızın en büyük değerde olabilmesi için

$F_{Merkezcil} = T + F_{Sürtünme}$ olmalıdır.

$F_{Sürtünme} = k \cdot N = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ N}$

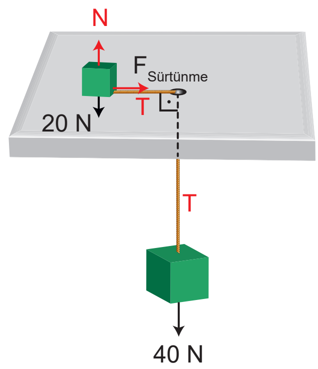
$F_{Merkezcil} = m \cdot \omega^2 \cdot r = 2 \cdot \omega^2 \cdot 0,5 = \omega^2$

$F_{Merkezcil} = T + F_{Sürtünme}$

$\omega^2 = 40 + 10$

$\omega^2 = 50$

$\omega = 5\sqrt{2}\ \frac{rad}{s}$ olmalıdır.



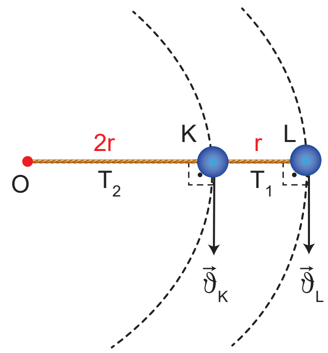
Örnek

Aynı ip üzerindeki m kütleli K ve L cisimlerine sürtünmesiz yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.

Buna göre

c) **Cisimlerin çizgisel hızlarının büyüklükleri oranı $\frac{\vartheta_K}{\vartheta_L}$ yi bulunuz?**

d) **İplerdeki gerilme kuvvetlerinin oranı $\frac{T_1}{T_2}$ yi bulunuz?**



Çözüm

a) Cisimler O merkezi etrafında döndükleri için açısal hızları eşittir. Çizgisel hızla açısal hız arasındaki $\vartheta = \omega \cdot r$ bağıntısından yola çıkarak

$\vartheta_K = \omega \cdot 2r$

$\vartheta_L = \omega \cdot 3r$ olur.

$\frac{\vartheta_K}{\vartheta_L} = \frac{\omega \cdot 2r}{\omega \cdot 3r}$

$\frac{\vartheta_K}{\vartheta_L} = \frac{2}{3}$ bulunur.

b) L cismini hareketin merkezine doğru çeken net kuvvet (merkezcil kuvvet) $F_L = T_1$ dir.

$T_1 = m \cdot \omega^2 \cdot 3r$ bulunur.

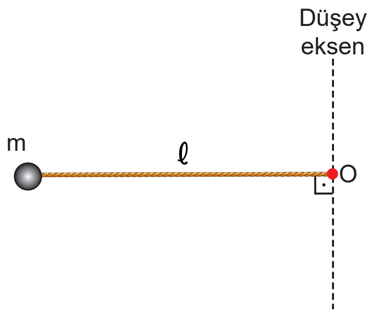
K cismini hareketin merkezine doğru çeken net kuvvet (cisme etki eden merkezcil kuvvet) $F_K = T_2 - T_1$ dir. Buradan $T_2 = F_K + T_1$ olur.

$T_2 = m \cdot \omega^2 \cdot 2r + m \cdot \omega^2 \cdot 3r = 5m \cdot \omega^2 \cdot r$ olur.

$\frac{T_1}{T_2} = \frac{3m \cdot \omega^2 \cdot r}{5m \cdot \omega^2 \cdot r} = \frac{3}{5}$ bulunur.

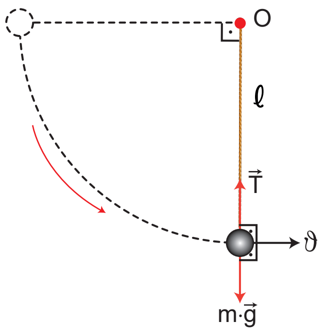
Örnek

O noktasına sabitlenmiş esnemesiz ℓ uzunluğundaki ipin ucuna bağlanmış m kütleli cisim şekildeki gibi tutuluyor.



Serbest bırakılan cisim düşey eksenden geçerken ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç m·g olur? (g: Gezegenin çekim ivmesidir.)

Çözüm



Serbest bırakılan cismin düşey eksenden geçerken hızının büyüklüğü ϑ olsun.

Enerjinin korunumu yasasına göre

$$\cancel{m} \cdot g \cdot \ell = \frac{1}{2} \cdot \cancel{m} \cdot \vartheta^2 \text{ dir.}$$

$$\vartheta^2 = 2 \cdot g \cdot \ell \text{ olur.}$$

Düşey konumdan geçerken merkeze yönelmiş net kuvvetin (merkezcil kuvvet) büyüklüğü T - m·g kadardır.

$$F_{Merkezcil} = T - m \cdot g$$

$$\frac{m \cdot \vartheta^2}{r} = T - m \cdot g$$

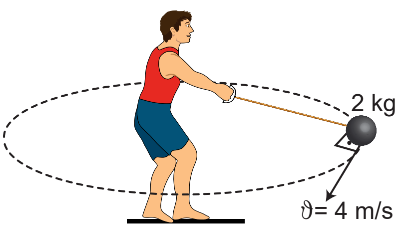
$$\vartheta^2 = 2 \cdot g \cdot \ell \text{ yerine yazılırsa}$$

$$m \cdot \frac{2 \cdot g \cdot \cancel{\ell}}{\cancel{\ell}} = T - m \cdot g$$

$$T = 3m \cdot g \text{ bulunur.}$$

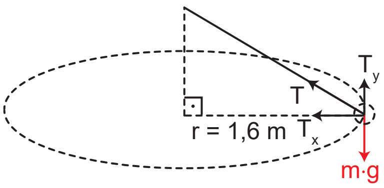
Örnek

Mete ℓ uzunluğundaki ipin ucuna bağladığı 2 kg kütleli cisme 4 $\frac{m}{s}$ lik sabit hız büyüklüğüyle yarıçapı 1,6 m olan düzgün çembersel hareket yaptırıyor.



Buna göre ipte oluşan gerilme kuvveti kaç N olur? (g = 10 $\frac{N}{kg}$)

Çözüm

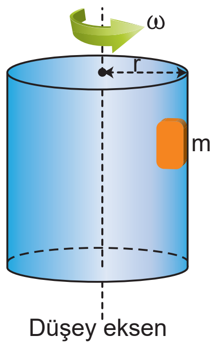


İpteki gerilme kuvveti, dik koordinat sisteminde yatay ve düşey bileşenlerine ayrıldığında cismi merkeze doğru çeken T_X bileşeni merkezcil kuvvete eşit olurken T_Y bileşeni cisme etki eden yer çekimi kuvvetine eşit olur.

$$T_x = m\frac{\vartheta^2}{r} = \frac{2 \cdot 4^2}{1,6} = 20 \text{ N}$$
$$T_y = m \cdot g = 2 \cdot 10 = 20 \text{ N}$$
$$T^2 = T_x^2 + T_y^2$$
$$T = \sqrt{20^2 + 20^2}$$
$$T = 20\sqrt{2} \text{ N bulunur.}$$

Örnek

Yarıçapı r = 1 m olan içi boş silindir, merkezinden geçen düşey eksen çevresinde ω açısal hızıyla döndürülürken kütlesi m = 0,5 kg olan cisim de silindirin iç yüzeyinde kaymadan döndürülüyor.



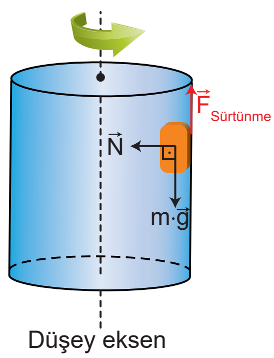
Cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısı k = 0,5 olduğuna göre silindirin açısal hızı en az kaç $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ olur?

Çözüm

Cismin kayması için statik sürtünme kuvveti $F_{Sürtünme}$ = m·g olmalıdır. Cismin hareketi sırasında cisme etki eden merkezcil kuvvet silindirin yan yüzeyinin cisme uyguladığı tepki kuvvetine eşittir.

$F_{Merkezcil}$ = N dir. Sürtünme kuvveti $F_{Sürtünme} = k \cdot N = k \cdot F_{Merkezcil}$ bulunur.

$$k \cdot \cancel{m} \cdot \omega^2 \cdot r = \cancel{m} \cdot g$$
$$k \cdot \omega^2 \cdot r = g$$
$$0,5 \cdot \omega^2 \cdot 1 = 10$$
$$\omega^2 = 20$$
$$\omega = 2\sqrt{5}\ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$



Cismin açısal hızının küçük değeri $\omega = 2\sqrt{5}\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ olmalıdır.

2. BÖLÜM

DÖNEREK ÖTELEME HAREKETİ

Konular

1.2.1. Öteleme ve Dönme Hareketi Arasındaki İlişki

1.2.2. Eylemsizlik Momenti

1.2.3. Dönme ve Dönerek Öteleme Hareketi Yapan Cismin Kinetik Enerjisinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Anahtar Kavramlar

- Eylemsizlik momenti

- **Bir cisim dönme ve öteleme hareketini aynı anda yapabilir mi?**
- **Öteleme ve dönme hareketi arasındaki farklılıklar nelerdir?**

Bu bölümde, öteleme ve dönme kavramları tanımlanarak hareketler karşılaştırılacaktır. Cisimlerin dönme hareketine karşı gösterdikleri direncin nedenleri ve bu direncin hangi değişkenlere bağlı olduğu incelenecektir. Dönme ve dönerek öteleme hareketi yapan cisimlerin kinetik enerjilerinin bağlı olduğu değişkenler belirlenecektir.



1.2.1. Öteleme ve Dönme Hareketi Arasındaki İlişki

Hareket, fizik biliminin önemli bir konusu olmasının yanında günlük hayatın da vazgeçilmez bir parçasıdır. Çevredeki canlıların, araçların ya da nesnelerin hareketleri özelliklerine göre öteleme, dönme veya titreşim hareketi olarak adlandırılır.

Doğrusal yörüngede hareket eden bir uçağın, yürüyen merdivenin üzerindeki insanların (Görsel 1.8), bir fabrika bandında taşınan kolilerin yaptığı hareket öteleme hareketidir.



Görsel 1.8: *Yürüyen merdiven*

Öteleme hareketi yapan bir cismin tüm noktaları hareket düzlemine paralel olacak şekilde hareket eder ve cisim üzerindeki tüm noktaların hızı aynıdır.

Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan türbindeki pervane hareketi (Görsel 1.9) ve çamaşır makinesindeki tamburun hareketi gibi sabit bir eksen etrafında gerçekleşen hareketler dönme hareketidir.



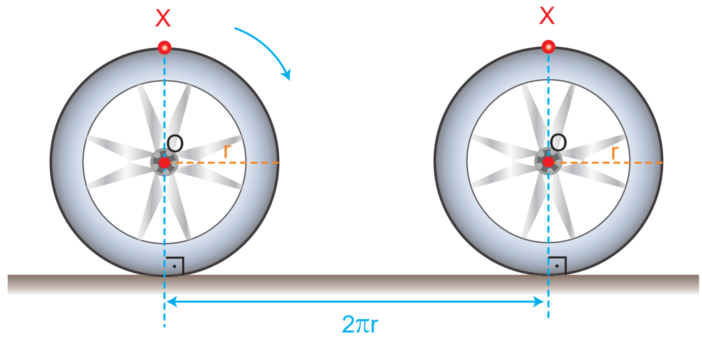
Görsel 1.9: *Rüzgâr türbini*

Sabit bir eksen etrafında dönen bir cismin üzerindeki tüm noktalar, çembersel hareket yaparken sadece dönme ekseni üzerinde kalan noktalar olduğu yerde döner. Hareket hâlindeki araçların tekerlekleri dönme ve öteleme hareketini aynı anda gerçekleştirir.



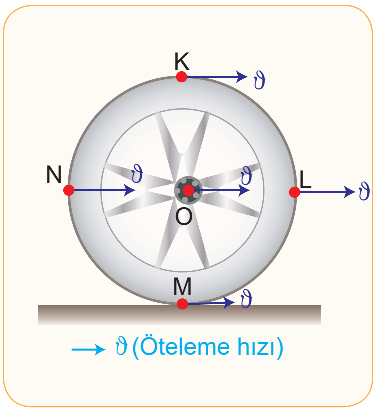
Görsel 1.10: *Hareket hâlindeki araç*

Araç ve sürücü öteleme hareketi yaparken aracın tekerlekleri hem dönme hem de öteleme hareketi yapar (Görsel 1.10). Tekerleklerin yapmış olduğu bu harekete **dönerek öteleme hareketi** denir.

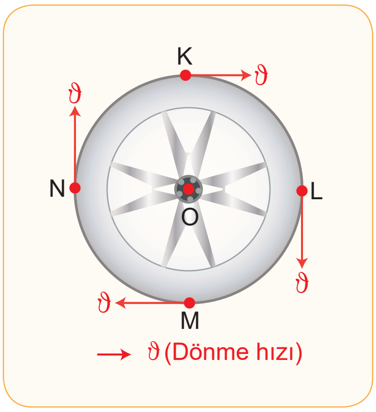


Şekil 1.10: *Dönerek öteleme hareketi yapan tekerlek*

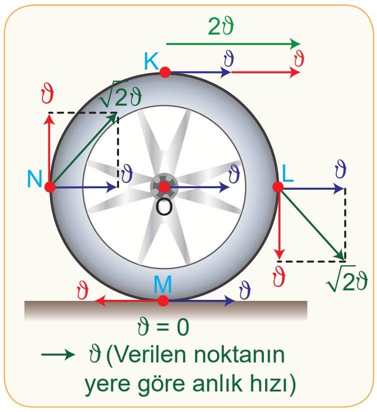
Dönerek öteleme hareketi yapan tekerleğin üzerindeki bir X noktası, tekerlek 1 tur attığında çevresi kadar ($2\pi r$) yol alır (Şekil 1.10). Tekerleğin merkezinin (O noktası) yer değiştirmesi ile X noktasının yer değiştirmesi birbirine eşittir. Buna bağlı olarak tekerleğin yere temas ettiği yüzey üzerindeki bir noktanın öteleme hızının büyüklüğü aynı zamanda dönme hızının büyüklüğüne eşittir.



Şekil 1.11: *a) Doğrusal bir yörüngede sabit büyüklükte hızla hareket eden tekerlek üzerinde seçilen noktaların anlık öteleme hızlarının büyüklüğü*



Şekil 1.11: *b) Sabit bir eksen (O noktası) etrafında dönen tekerlek üzerinde seçilen noktaların anlık dönme hızlarının büyüklüğü*



Şekil 1.11: *c) Dönme ve öteleme hareketi yapan tekerleğin üzerinde seçilen noktaların yere göre anlık hızlarının büyüklüğü*

Sadece öteleme hareketi yapan tekerleğin üzerindeki her noktanın hızının büyüklüğü ve yönü aynıdır (Şekil 1.11: a).

Sabit bir eksen etrafında dönen tekerleğin merkezinin çizgisel hızı sıfırdır (Şekil 1.11: b). Merkeze eşit uzaklıktaki tüm noktaların çizgisel hızlarının büyüklüğü eşittir. Ancak hızlarının yönleri ve doğrultuları sürekli değişmektedir.

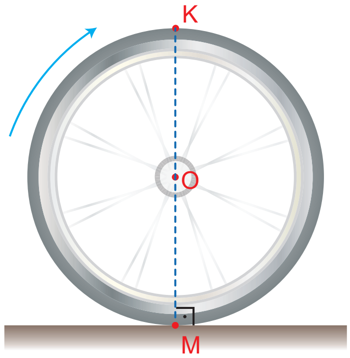
Dönerek öteleme hareketi yapan (Şekil 1.11: c) bir tekerleğin hareketi, dönme ve öteleme hareketinin birleşimidir. Tekerlek merkezinin yere göre sadece öteleme hızı, tekerlek üzerindeki diğer noktaların ise yere göre hem öteleme hem de dönme hızları vardır.

Bu noktaların yere göre anlık hızlarının büyüklüğü dönme ve öteleme hızlarının vektörel toplamına eşittir.

- O noktasının yere göre hızının büyüklüğü: $\vartheta_O = \vartheta$
- K noktasının yere göre hızının büyüklüğü: $\vartheta_K = 2\vartheta$
- L ve N noktalarının yere göre hızının büyüklüğü: $\vartheta_L = \vartheta_N = \sqrt{2}\vartheta$
- M noktasının yere göre hızının büyüklüğü: $\vartheta_M = 0$

Örnek

Dönerek öteleme hareketi yapan bir bisiklet tekerleğinin K, O ve M noktalarının yere göre anlık hızlarının büyüklüğü ϑ_K, ϑ_O ve ϑ_M dir.



Buna göre ϑ_K, ϑ_O ve ϑ_M arasındaki ilişki nedir?

Çözüm

Cismin öteleme hızının büyüklüğü ϑ kabul edilirse K noktasının yere göre anlık hızı $\vartheta_K = \vartheta + \vartheta = 2\vartheta$ bulunur.

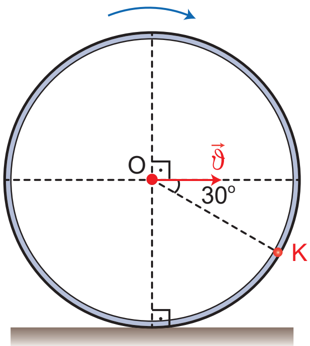
O noktası dönme hareketinin merkezi olduğundan dönme hızı sıfırdır. Bu durumda O noktasında sadece öteleme hızı bulunur ve $\vartheta_O = \vartheta$ olur.

M noktasında dönme ve öteleme hızlarının büyüklükleri eşit ve zıt yönlüdür. Dönen tekerleklerin zemine temas eden noktalarının yere göre anlık hızları sıfırdır. Bu durumda $\vartheta_M = 0$ olur.

$\vartheta_K > \vartheta_O > \vartheta_M$ bulunur.

Örnek

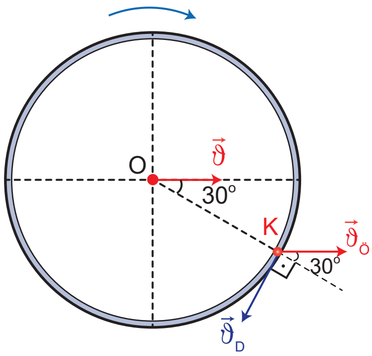
Dönerek öteleme hareketi yapan çemberin merkezinin hızı $\vec{\vartheta}$ dir.

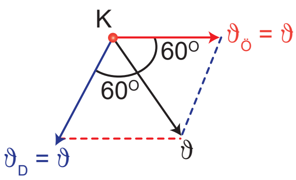


Buna göre K noktasının yere göre anlık hızının büyüklüğü kaç ϑ'dir?

Çözüm

K noktasının öteleme hızı $\vec{\vartheta}_Ö$ çemberin merkezinin hızına eşittir. Çember yüzeyindeki noktaların dönme hızı öteleme hızının büyüklüğüne eşit olduğu için K noktasının dönme hızı $\vec{\vartheta}_D$ nin büyüklüğü, öteleme hızının büyüklüğüne eşittir. Eşit büyüklükte iki vektör arasındaki açı 120° olduğundan bileşke hız vektörünün büyüklüğü bileşenlerinden birinin büyüklüğüne eşit olur.





Bu nedenle K noktasının yere göre anlık hızının büyüklüğü $\vartheta_K = \vartheta$ bulunur.

Sıra Sizde - 6

Görsellerdeki hareket çeşitlerini belirleyerek, hareketin çeşidini alttaki kutucuklara işaretleyiniz.



Görsel 1.11: *İtilen tekerlekli alışveriş sepetindeki ürünlerin hareketi*

- Öteleme hareketi ☐
- Dönme hareketi ☐
- Dönerek öteleme hareketi ☐



Görsel 1.12: *Dönen topaç*

- Öteleme hareketi ☐
- Dönme hareketi ☐
- Dönerek öteleme hareketi ☐



Görsel 1.13: *Sahada yuvarlanan futbol topu*

- Öteleme hareketi ☐
- Dönme hareketi ☐
- Dönerek öteleme hareketi ☐



Görsel 1.14: *Hareketli taşıma bandı üzerindeki valiz*

- Öteleme hareketi ☐
- Dönme hareketi ☐
- Dönerek öteleme hareketi ☐



Görsel 1.15: *Hamur açma sırasında kullanılan merdanenin hareketi*

- Öteleme hareketi ☐
- Dönme hareketi ☐
- Dönerek öteleme hareketi ☐



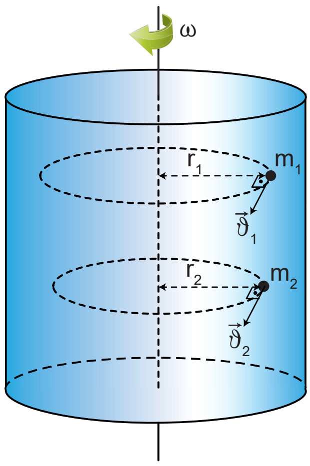
Görsel 1.16: *Çalışan vantilatör pervanesi*

- Öteleme hareketi ☐
- Dönme hareketi ☐
- Dönerek öteleme hareketi ☐

1.2.2. Eylemsizlik Momenti

Doğadaki tüm cisimler var olan durumlarını koruma eğilimindedir. Duran cisimler durmaya devam etmek isterken, hareket hâlindeki cisimler de hareketini sürdürmek ister. Cisimlerin hareket durumları bir etkiyle değiştirilmek istendiğinde bu değişikliğe karşı cisimlerin direnç göstermeleri bu sebeptendir. Cisimlerin hareket durumunu koruma isteğine **eylemsizlik** denir. Bu konu Newton'ın Hareket Yasaları'nda ifade edilmişti.

Duran ya da öteleme hareketi yapan cisimler kütleleriyle, dönmeye zorlanan cisimler de eylemsizlik momentleriyle etkiye karşı direnç gösterir. Dönen cisimlerin dönmeye karşı gösterdikleri dirence **eylemsizlik momenti** denir.



Şekil 1.12: *Dönen silindir*

Merkezinden geçen düşey eksen etrafında döndürülen (Şekil 1.12) içi dolu silindir, üzerindeki r_1 ve r_2 yarıçaplı, kütleleri m_1 ve m_2 olan iki noktanın toplam kinetik enerjisi

$E_K = \frac{1}{2}m_1 \cdot \vartheta_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot \vartheta_2^2$ bağıntısıyla bulunur.

Çizgisel hız için $\vartheta = \omega \cdot r$ değeri yerine yazılırsa denklem

$E_K = \frac{1}{2}m_1 \cdot \omega^2 \cdot r_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot \omega^2 \cdot r_2^2$ hâline dönüşür.

Denklem yeniden düzenlendiğinde

$E_K = \frac{1}{2}\omega^2 \cdot (m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2)$ bulunur.

Buradaki $m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2$ ifadesi, seçilen noktasal cisimlerin eylemsizlik momentini verir. Eylemsizlik momenti I sembolüyle gösterilir. SI'da birimi $kg \cdot m^2$ dir.

Bu bağıntıya göre eylemsizlik momenti

- Cismin kütlesine
- Cismi oluşturan her parçacığın dönme eksenine olan dik uzaklığına
- Cismin geometrik şekline bağlıdır.

Araştırınız

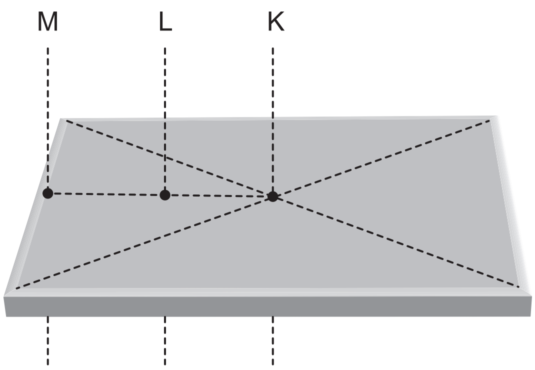


Görsel 1.17: *İpte yürüyen adam*

İpte yürüyen adam elinde uzun bir çubuk kullanır. Bunun nedenini araştırınız.

Örnek

Türdeş bir dikdörtgen levha sırasıyla K, L ve M noktalarından geçen dik eksenler etrafında ayrı ayrı döndürülüyor. Bu durumda levhanın eylemsizlik momenti seçilen eksenlere göre I_K, I_L ve I_M oluyor.



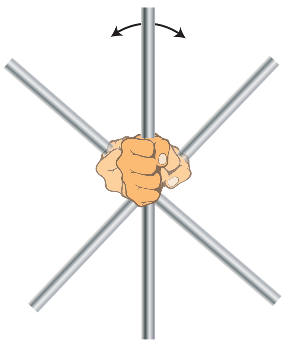
Buna göre I_K, I_L ve I_M arasındaki ilişki nedir?

Çözüm

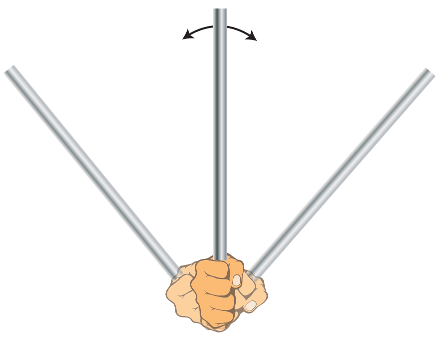
Cismi oluşturan her parçacığın dönme eksenine olan dik uzaklığı arttıkça eylemsizlik momenti de artar.

Bu durumda $I_M > I_L > I_K$ bulunur.

Sıra Sizde - 7



Şekil I



Şekil II

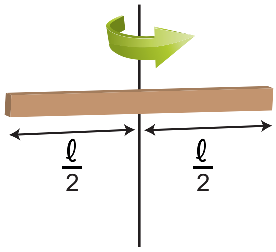
Ortasından tutularak sağa sola hareket ettirilen Şekil I'deki çubuk, Şekil II'deki gibi ucundan tutularak sağa sola gibi hareket ettirildiğinde hareketin zorlanılarak yapıldığı görülür.

Bu zorlanmanın sebebini açıklayınız.

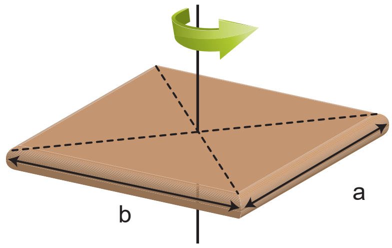
Çözüm

Bazı katı cisimlerin eylemsizlik momenti, dönme eksenlerine göre Tablo 1.1'de verilmiştir.

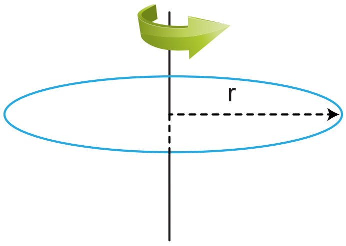
Tablo 1.1: *Bazı Düzgün Geometrik Şekilli Katı Cisimlerin Eylemsizlik Momenti*



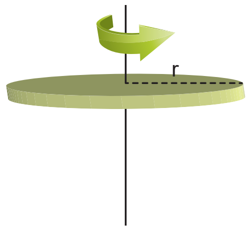
Uzunluğu ℓ, kütlesi m olan bir çubuğun eylemsizlik momenti: $I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot \ell^2$



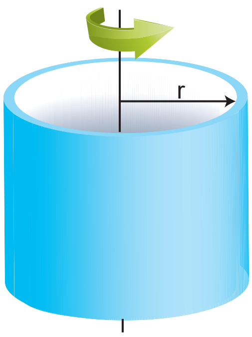
Kenar uzunlukları a ve b, kütlesi m olan bir dikdörtgen levhanın eylemsizlik momenti: $I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a^2 + b^2)$



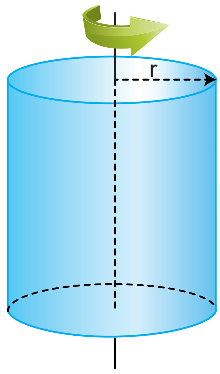
Yarıçapı r, kütlesi m olan bir çemberin eylemsizlik momenti: $I = m \cdot r^2$



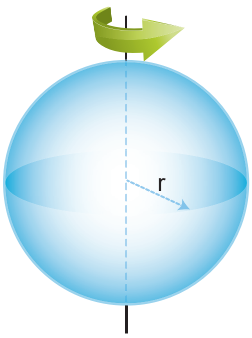
Yarıçapı r, kütlesi m olan bir diskin eylemsizlik momenti: $I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$



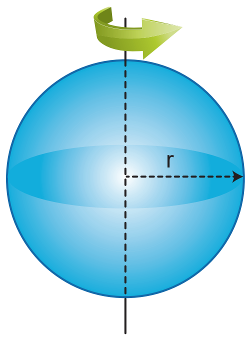
İnce çeperli delik silindirin eylemsizlik momenti: $I = m \cdot r^2$



Yarıçapı r, kütlesi m olan içi dolu silindirin eylemsizlik momenti: $I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$



İçi boş kürenin eylemsizlik momenti: $I = \frac{2}{3} m \cdot r^2$



Yarıçapı r, kütlesi m olan bir kürenin eylemsizlik momenti: $I = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$

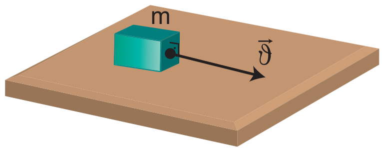
1.2.3. Dönme ve Dönerek Öteleme Hareketi Yapan Cismin Kinetik Enerjisinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Öteleme hareketi yapan m kütleli bir cismin (Şekil 1.13) öteleme kinetik enerjisi

$E_{Öteleme} = \frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2$ ifadesiyle bulunur.

m : Ötelenen cismin kütlesi (kg)

ϑ : Ötelenen cismin hızı ($\frac{m}{s}$)



Şekil 1.13: *Öteleme hareketi yapan cisim*

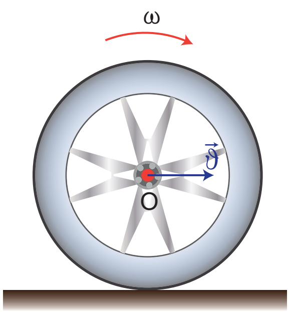
Cisimlerin dönme hareketlerinden dolayı sahip olduğu kinetik enerjiye **dönme kinetik enerjisi** denir. Bir eksen etrafından ω açısal hızıyla dönen ve eylemsizlik momenti I olan cismin dönme kinetik enerjisi

$E_{Dönme} = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$ ifadesiyle bulunur.

I : O noktasının etrafında dönen cismin eylemsizlik momenti ($kg \cdot m^2$)

ω : Dönerek hareket eden cismin açısal hızı ($\frac{rad}{s}$)

Sabit bir eksen etrafında dönme hareketi yapan cismin sahip olduğu dönme kinetik enerjisi, eylemsizlik momentine ve açısal hızının büyüklüğüne bağlıdır.



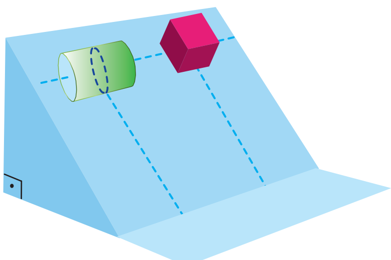
Şekil 1.14: *Dönerek ötelenen tekerlek*

Dönerek öteleme hareketi yapan tekerleğin (Şekil 1.14) dönme hareketinden dolayı dönme kinetik enerjisi, öteleme hareketinden dolayı da öteleme kinetik enerjisi bulunur. Cismin toplam kinetik enerjisi

$E_K = E_{Öteleme} + E_{Dönme}$ kadardır.

Cismin sahip olduğu toplam kinetik enerji

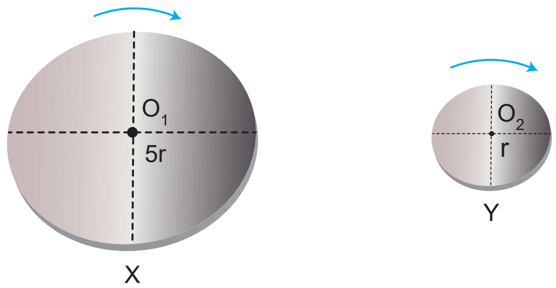
$E_K = \frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2 + \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$ ifadesiyle bulunur.



Şekil 1.15: *Eğik düzlemde dönerek ötelenen cisimle öteleme hareketi yapan cisim*

Sürtünmelerin önemsiz olduğu eğik düzlem üzerinde aynı yükseklikten serbest bırakılan eşit kütleli silindir ile küp şeklindeki cisimlerin yatay zemine ulaşma süresi ve ulaşma anındaki hızları farklıdır (Şekil 1.15). Küp sadece öteleme hareketi yaptığı için potansiyel enerji, öteleme kinetik enerjisine dönüşürken silindir dönerek öteleme hareketi yaptığı için potansiyel enerji hem dönme hem de öteleme kinetik enerjisine dönüşür. Bu nedenle cisimler yatay düzleme ulaştığında küpün öteleme hızı silindirin öteleme hızından büyük olur.

Örnek



Sabit O_1 ve O_2 noktaları etrafında şekildeki gibi dönen X ve Y diskleri-nin periyotları eşittir. X in eylemsizlik momenti $I_X = 2I$ ve Y nin eylem-sizlik momenti $I_Y = I$ dır.

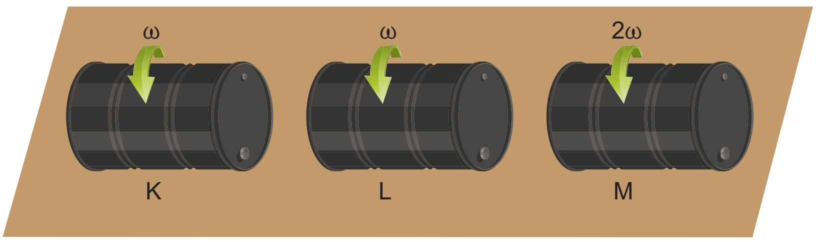
Buna göre disklerin dönme kinetik enerjileri sırasıyla E_X ve E_Y ise $\frac{E_X}{E_Y}$ oranı kaçtır?

Çözüm

Cisimlerin periyotları eşitse açısal hızları $\omega = \frac{2\pi}{T}$ den eşit olur. Bu durumda $\frac{E_X}{E_Y} = \frac{\frac{1}{2} I_X \cdot \omega^2}{\frac{1}{2} I_Y \cdot \omega^2} = \frac{2I}{I} = 2$ bulunur.

Sıra Sizde - 8

Özdeş varillerden K boş, L ve M aynı miktarda suyla doludur. K ve L varilleri ω açısal hızıyla M varili 2ω açısal hızıyla kaymadan dönerek öteleniyor.



Varillerin dönme kinetik enerjileri E_K, E_L ve E_M olduğuna göre bu enerjiler arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

Çözüm

3. BÖLÜM

AÇISAL MOMENTUM

Konular

Anahtar Kavramlar

- Açısal momentum

- **Kendi ekseni etrafında dönme hareketi yapan bir buz pateni sporcusu kollarını vücuduna yaklaştırdığında hızı nasıl değişir?**
- **Güneş etrafında eliptik yörüngelerde dolanan gezegenlerin çizgisel momentumlarının büyüklükleri yörüngelerinin her noktasında aynı mıdır?**

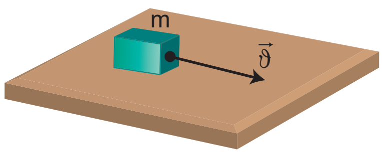
Bu bölümde, atomik boyutta da fiziksel bir nicelik olan açısal momentum kavramı açıklanarak, çizgisel momentumla ilişkilendirilecektir. Eylemsizlik momenti ve açısal hız kavramları kullanılarak açısal momentumun; eylemsizlik momenti ve açısal ivme kavramları kullanılarak da torkun matematiksel modeli elde edilecektir. Açısal momentumun korunumuna günlük hayattan örnekler verilecektir.



1.3.1. Fiziksel Bir Nicelik Olarak Açısal Momentum

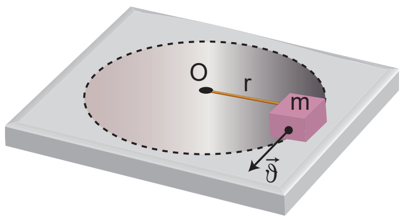
Kütlesi m, çizgisel hızı $\vec{\vartheta}$ olan ve öteleme hareketi yapan (Şekil 1.16) cismin çizgisel momentumunun

$\vec{P} = m \cdot \vec{\vartheta}$ olduğu ifade edilmişti.



Şekil 1.16: *Öteleme hareketi yapan cisim*

Kütlesi m olan bir cisme sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda r yarıçaplı yörüngede $\vec{\vartheta}$ çizgisel hızıyla düzgün çembersel hareket yaptırılsın (Şekil 1.17). Herhangi bir anda cismin konum vektörüyle momentum vektörünün vektörel çarpımına **açısal momentum** denir.



Şekil 1.17: *Çembersel hareket yapan cisim*

Fiziksel bir nicelik olan açısal momentum $\vec{L}$ sembolüyle gösterilir ve vektörel bir büyüklüktür. SI'da birimi $kg \cdot \frac{m^2}{s}$ dir.

Açısal momentum büyük sistemlerde gezegenlerin Güneş, atomik boyutta ise elektronların çekirdek etrafındaki dolanımlarında bulunmaktadır. Bu nedenle atomik boyutta fiziksel bir niceliktir.

Simülasyon

Atomik boyutta momentumun değişimini karekoddan yararlanarak inceleyiniz.

Sıra Sizde - 9

Açısal momentum ile ilgili

I. Açısal momentum fiziksel bir niceliktir.
II. Doğrusal bir yolda hareket eden cisimlerin açısal momentumları vardır.
III. Açısal momentum vektörel bir büyüklüktür.

yargılarından hangileri doğrudur?

Çözüm

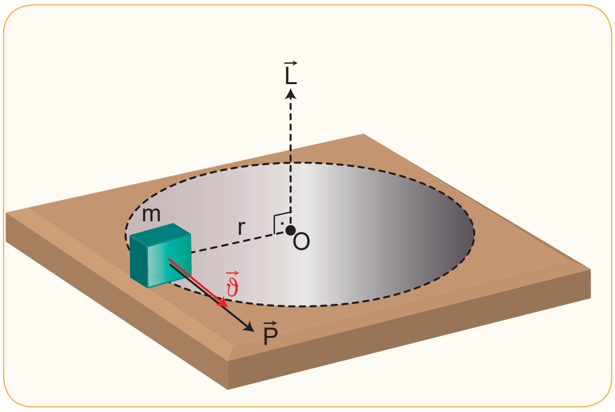
1.3.2. Açısal Momentum ve Çizgisel Momentum Arasındaki İlişki

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde m kütleli cisim ϑ büyüklüğünde çizgisel hızla Şekil 1.18'deki r yarıçaplı yörüngede dolanmaktadır. Cismin çizgisel momentumunun büyüklüğü $P = m \cdot \vartheta$ olduğuna göre açısal momentumunun büyüklüğü $L = P \cdot r$ ifadesiyle bulunur.

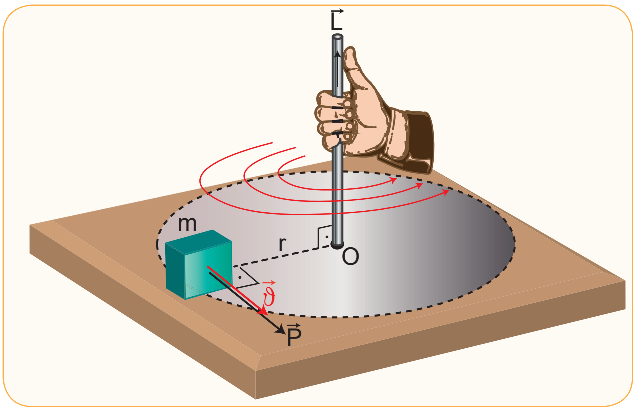
Buradan $L = m \cdot \vartheta \cdot r$ bağıntısı elde edilir.

Açısal momentum cismin hızına, kütlesine ve yörünge yarıçapına bağlıdır.

Açısal momentumun yönü sağ el kuralıyla bulunur. Sağ elin dört parmağı dönme yönünü gösterirken dört parmağa dik olan başparmak açısal momentumun yönünü verir (Şekil 1.19).



Şekil 1.18: *Çembersel hareket yapan cisim*



Şekil 1.19: *Çembersel hareket yapan bir cismin sağ el kuralıyla açısal momentumunun yönünün gösterilmesi*

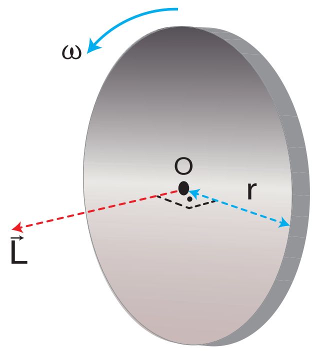
Belirli bir eksen etrafında çembersel hareket yapan noktasal bir cisim için açısal momentumun büyüklüğü $L = m \cdot \vartheta \cdot r$ dir. Bağıntıda $\vartheta = \omega \cdot r$ yerine yazılırsa

$L = m \cdot \omega \cdot r \cdot r = m \cdot \omega \cdot r^2$ bulunur. Denklem düzenlendiğinde

$L = m \cdot r^2 \cdot \omega$ şekline dönüşür. Bağıntıda yer alan $m \cdot r^2$ ifadesi noktasal bir parçacığın eylemsizlik momenti (I) olduğu için

$L = I \cdot \omega$ bağıntısı elde edilir.

Böylece dönme hareketi yapan cisimlerin açısal momentumlarının, eylemsizlik momentine (I) ve cismin açısal hızının büyüklüğüne (ω) bağlı ifadesi elde edilmiş olur.



Şekil 1.20: *Dönen bir dairesel levhanın açısal momentumu*

Dönme hareketi yapan katı cisimlerin açısal momentumları da aynı bağıntıyla hesaplanır (Şekil 1.20).

Sıra Sizde - 10

m kütleli cisim, r yarıçaplı yörüngede sabit büyüklükteki P çizgisel momentumuyla dolanmaktadır.

Buna göre açısal momentum ile ilgili

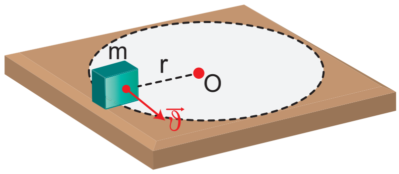
I. Yönü hareket süresince değişmez.
II. Çizgisel momentum vektörüne daima diktir.
III. Çizgisel momentumla büyüklük ilişkisi $L = P \cdot r$ ile bulunur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay bir düzlemde, 0,5 kg kütleli cisim O noktası etrafında 3 m yarıçaplı yörüngede düzgün çembersel hareket yapmaktadır.



Cismin çizgisel hızının büyüklüğü 10 $\frac{m}{s}$ olduğuna göre cismin açısal momentumunu hesaplayınız.

Çözüm

Sabit bir eksen etrafında dönen cisimler için açısal momentum

$L = P \cdot r$ ve $P = m \cdot \vartheta$ dir.

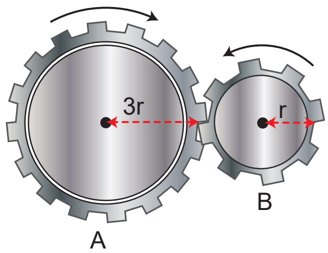
$L = m \cdot \vartheta \cdot r$ olur.

$L = 0{,}5 \cdot 10 \cdot 3$

$L = 15 \text{ kg} \frac{m^2}{s}$ bulunur.

Örnek

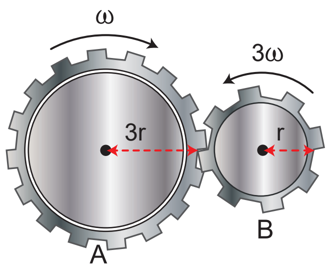
Birlikte dönen A ve B dişlilerinin açısal momentumlarının büyüklükleri eşittir.



Dişlilerin eylemsizlik momentleri I_A ve I_B olduğuna göre $\frac{I_A}{I_B}$ oranını hesaplayınız.

Çözüm

Dişlilerin tur sayıları, yarıçapları ile ters orantılıdır. A dişlisi 1 tur attığında B dişlisi 3 tur atar. Dolayısıyla A dişlisinin açısal hızı $\omega_A = \omega$, B dişlisinin açısal hızı $\omega_B = 3\omega$ olur. Açısal momentumlarının büyüklükleri eşit olduğundan



$L_A = L_B$

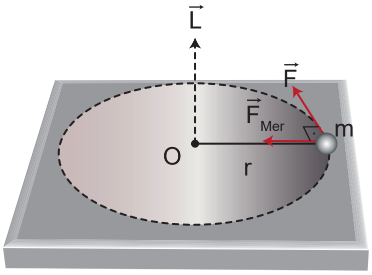
$\omega_A \cdot I_A = \omega_B \cdot I_B$

$\cancel{\omega} \cdot I_A = 3\cancel{\omega} \cdot I_B$

$\frac{I_A}{I_B} = 3$ bulunur.

1.3.3. Açısal İvme, Tork ve Eylemsizlik Momenti Arasındaki İlişki

Dönen cisimlere çizgisel hız vektörü doğrultusunda bir kuvvet uygulanırsa cisimlerin çizgisel ve açısal hızlarında bir değişme olur. Çizgisel hızın birim zamandaki değişimine **çizgisel ivme**, açısal hızın birim zamandaki değişimine ise **açısal ivme** denir. Açısal ivme α sembolüyle gösterilir. $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_{Son} - \omega_{İlk}}{t_{Son} - t_{İlk}}$ SI'da birimi $\frac{rad}{s^2}$ veya $\frac{1}{s^2}$ dir.



Şekil 1.21: *Dönen bir dairesel levhanın açısal momentumu*

Düzgün çembersel hareket yapan cisimde açısal hız değişimi olmadığından açısal bir ivmeden de bahsedilemez.

"Kuvvet ve Hareket" ünitesinde bir cisme uygulanan kuvvetin cismi dik bir eksen etrafında döndürme etkisine tork (τ) denildiği öğrenilmişti. Düzgün çembersel hareket yapan m kütleli bir cisme Şekil 1.21'deki gibi $\vec{F}$ kuvveti uygulanırsa uygulanan kuvvetin O noktasına göre oluşturduğu tork, cismin açısal hızında bir değişiklik meydana getirir. Bunun sonucunda da açısal ivme oluşur. Çembersel harekette oluşan merkezcil kuvvetin uzantısı dönme ekseninden (O noktasından) geçtiği için merkezcil kuvvetin torku sıfırdır.

Cismin çizgisel hızında meydana gelen değişimden dolayı oluşan çizgisel ivme büyüklüğüyle açısal ivme büyüklüğü arasındaki ilişki

$$a = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} = \frac{\Delta\omega \cdot r}{\Delta t} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \cdot r$$

$a = \alpha \cdot r$ bağıntısıyla elde edilir.

Çizgisel hızıyla aynı doğrultudaki kuvvetin O noktasına göre oluşturduğu tork

$\tau = F \cdot r$ dir.

Buradaki kuvvet yerine $F = m \cdot a$ ifadesi yazılırsa τ denklemi

$\tau = m \cdot a \cdot r$ şekline dönüşür.

Çizgisel ivme yerine de $a = \alpha \cdot r$ ifadesi yazıldığında

$\tau = m \cdot \alpha \cdot r \cdot r = \alpha \cdot m \cdot r^2$ elde edilir.

Denklemdeki $m \cdot r^2$ ifadesi noktasal bir cismin eylemsizlik momenti (I) olduğundan

$\tau = I \cdot \alpha$ bulunur. Böylece torkun eylemsizlik momenti ve açısal ivme cinsinden ifadesine ulaşılmış olur.

Tablo 1.2: *Öteleme Hareketinin ve Çembersel Hareketin Bazı Kavramları*

	Öteleme Hareketi	Çembersel Hareket
Kinetik Enerji	$E_K = \frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2$	$E_K = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$
Harekete Karşı Gösterilen Direnç	Kütle (m)	Eylemsizlik Momenti (I)
Momentum	$\vec{P} = m \cdot \vec{\vartheta}$	$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$
İvme	Çizgisel İvme ($\vec{a} = \frac{\Delta\vec{\vartheta}}{\Delta t}$)	Açısal İvme ($\alpha = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t}$)
İvmede Değişiklik Meydana Getiren Etki	$\vec{F}_{Net} = m \cdot \vec{a}$	$\vec{\tau} = I \cdot \vec{\alpha}$

Sıra Sizde - 11

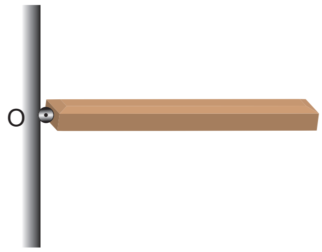
Kendi ekseni etrafında ω açısal hızıyla dönen m kütleli noktasal bir parçacığın eylemsizlik momenti $I = m \cdot r^2$ dir.

Buna göre açısal hızı ve eylemsizlik momentini kullanarak cismin açısal momentumunu çizgisel hız cinsinden veren ifadeyi bulunuz.

Çözüm

Örnek

Düşey düzlemde O noktası etrafında dönebilen şekildeki homojen çubuk serbest bırakıldığı anda açısal ivmesinin büyüklüğü α ve cismin eylemsizlik momenti I olmaktadır.



Yalnız çubuğun kütlesi artırılırsa α ve I için aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?

	α	I
A)	Değişmez.	Artar.
B)	Değişmez.	Değişmez.
C)	Azalır.	Artar.
D)	Artar.	Artar.
E)	Artar.	Azalır.

Çözüm

Açısal ivme $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ olduğu için cismin kütlesine bağlı değildir. Eylemsizlik momenti cismin kütlesine ve dönme eksenine olan uzaklığına bağlı olduğu için kütle arttıkça eylemsizlik momenti de artar. Doğru cevap A seçeneğidir.

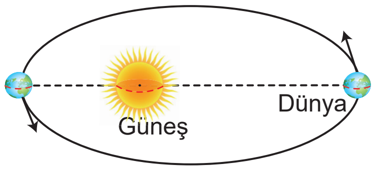
Sıra Sizde - 12

Kuvvetin döndürme etkisine tork denir. Torkun büyüklüğü uygulanan kuvvetin şiddetine ve uygulanma noktasının dönme noktasına dik uzaklığına bağlıdır.

Kendi ekseni etrafında dönen m kütleli noktasal parçacığın eylemsizlik momenti $I = m \cdot r^2$, açısal ivmesi $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ olduğuna göre cisme etki eden torku, eylemsizlik ve açısal ivme kavramlarını kullanarak bulunuz.

Çözüm

1.3.4. Açısal Momentumun Korunumunun Günlük Hayattaki Yeri



Şekil 1.22: *Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesi*

Bir sisteme dış bir kuvvet etki etmediği sürece momentumun sabit kalacağı ifade edilmişti. Benzer şekilde sisteme etki eden herhangi bir dış tork yoksa sistemin açısal momentumu korunur. Bu ifadeye **açısal momentumun korunumu yasası** denir.

Dünya, Güneş'e yaklaştığında yörünge yarıçapı küçülür. Açısal momentumun korunumu yasasına göre Dünya'nın çizgisel hızı artar (Şekil 1.22). Dünya, Güneş'ten uzaklaştığında ise yarıçapı büyüdüğünden Dünya'nın çizgisel hızı azalır.



Görsel 1.18: *Tramplenden havuza atlayan yüzücünün hareketleri*

Tramplenden havuza atlayan yüzücünün daha seri şekilde dönebilmek için havada kendisini toplayarak küçüldüğü görülür (Görsel 1.18). Yüzücünün bu hareketi eylemsizlik momentini azalttığından dönme hızını artırır.



Görsel 1.19: *Buz pateni yapan sporcu*

Buz pateni sporcusu kolları açık dönmeye başlar (Görsel 1.19). Dışarıdan bir tork etki etmediği sürece sporcu hızlanmak için kollarını kendine doğru çekerek dönme eksenine yaklaştırır. Kütle dönme eksenine yaklaştırıldığında eylemsizlik momenti azalır açısal hızı artar.



Görsel 1.20: *Düşen kedinin hareketleri*

Açısal momentumun korunumu yasasına verilebilecek en iyi örneklerden biri de kedinin düşme hareketidir (Görsel 1.20).

Harekete başlamadan önce açısal momentumu sıfır olan kedinin tüm hareketi süresince açısal momentumu korunur. Kedi düşerken vücudunun farklı bölümlerini farklı yönlerde bükmesi sonucunda vücudunda burulmalar meydana gelir. Kedinin vücudunda burulmalar olmasına rağmen organların toplam açısal momentumu sıfır kalır. Bunun sonucunda kedi ayakları üzerine düşer.

Dış kuvvetlerin etkisinde olmayan bir sistemde iç kuvvetlerin oluşturduğu torklar, sistemin toplam açısal momentumunu değiştirmez.

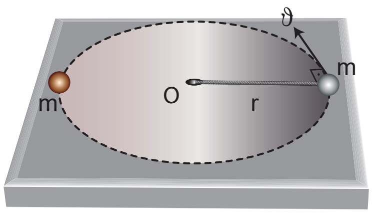
Sıra Sizde - 13

Duran bisiklet üzerinde ayaklar yerden kaldırıldığında denge sağlamak zor olurken hareketli bisiklet üzerinde pedal çevirmeden dengede kalmak kolaydır. Bunun sebebi nedir?

Çözüm

Örnek

Sürtünmesiz yatay düzlem üzerinde m kütleli cisim O noktası etrafında r yarıçaplı yörüngede dönmektedir. Cisim, yörüngesi üzerine konulan durgun hâldeki özdeş cisim ile esnek olmayan bir çarpışma yaparak yapışıyor.



Buna göre

I. Açısal momentumu değişmez.

II. Çizgisel hızı azalır.

III. Periyodu artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

Çözüm

Sisteme etki eden bir dış tork olmadığından açısal momentum korunur (I doğru).

İki cisim birbirine yapıştığında açısal momentumun korunumu yasasına göre kütle arttığı için çizgisel hızı azalır (II doğru).

$T = \frac{2\pi \cdot r}{\vartheta}$ bağıntısında çizgisel hız (ϑ) azaldığından periyot artar (III doğru).

Doğru cevap E seçeneğidir.

Açısal momentumun korunumu yasasını daha iyi anlayabilmek için "Açısal momentumun korunumu" etkinliğini yapınız.

ETKİNLİK

1. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı	Açısal momentumun korunumu
Etkinliğin Amacı	Açısal momentumun korunumunun incelenmesi
Kullanılan Malzemeler	• Döner sandalye • 2 adet 1 kg'lık ağırlık

Etkinliğin Hazırlanışı ve Yapılışı



Görsel I: Kollar açıkken



Görsel II: Kollar kapalıyken

1. Adım: Döner sandalyeye oturunuz.

2. Adım: Ağırlıkların her birini bir elinize alarak kollarınızı Görsel I'deki gibi açınız.

3. Adım: Bir arkadaşınız sandalyeyi döndürüp bıraksın.

4. Adım: Dönme esnasında Görsel II'de gösterildiği gibi ağırlıkları bedeninize doğru çekiniz.

Etkinliğin Sonuçlandırılması

Ağırlıkları bedeninize doğru çektiğinizde dönme hızınızda bir değişiklik oldu mu? Nedenini arkadaşlarınızla paylaşınız.

Verilen örneklerde ve "Açısal momentumun korunumu" etkinliğinde bir sisteme dışarıdan tork uygulanmadığı sürece açısal momentumun korunduğu ve bu korunumdan yola çıkılarak sistemlerin eylemsizlik torkları değiştiğinde hızlarının da değiştiği görülür.

4. BÖLÜM

KÜTLE ÇEKİM KUVVETİ

Konular

Anahtar Kavramlar

- Kütle çekim kuvveti

- **Dünya'nın Ay'a uyguladığı kuvvetin büyüklüğüyle Ay'ın Dünya'ya uyguladığı kuvvetin büyüklüğü eşit midir?**
- **Ağırlığımız Dünya üzerindeki her yerde aynı büyüklükte midir?**

Bu bölümde, noktasal kütleler arasındaki çekim kuvvetinin bağlı olduğu değişkenler belirlenerek, kütle çekim kuvvetinin matematiksel modeli elde edilecek ve yapay uydular, ay ve gezegenlerin hareketleri açıklanacaktır. Yer çekimi ivmesi açıklanarak bağlı olduğu değişkenler verilecektir. Kütle çekim potansiyel enerjisi açıklanarak bağlanma ve kurtulma enerjisi kavramları üzerinde durulacaktır.



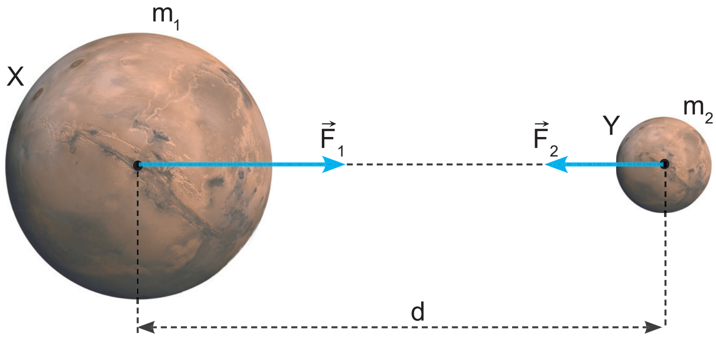
1.4.1. Kütle Çekim Kuvveti Nedir?



Görsel 1.21: *Dünya-Ay sistemi*

Evrende kütlesi olan her şey birbirine çekme kuvveti uygular. Güneş ile gezegenler, gezegenler ile uydular, Dünya ile Ay arasında bir kütle çekim kuvveti vardır. Bu kuvvet Ay'ın Dünya çevresinde dolanımında etkilidir (Görsel 1.21).

Newton tarafından iki kütle arasında bir çekim kuvvetinin olduğu ve bu çekim kuvvetinin cisimlerin kütlelerinin çarpımıyla doğru, merkezleri arasındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olduğu ifade edilir.



Şekil 1.23: *m_1 ve m_2 kütleli gezegenler arasındaki kütle çekim kuvveti*

Simülasyon

Kütle çekim kuvvetini karekoddan yararlanarak inceleyiniz.

X ve Y gezegenlerinin birbirine uyguladığı kütle çekim kuvveti Newton'ın etki tepki yasasına göre eşit büyüklükte ve zıt yöndedir (Şekil 1.23).

$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2, \quad |\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$

Bu kuvvetlerin büyüklüğü

$F_1 = F_2 = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$ bağıntısıyla bulunur.

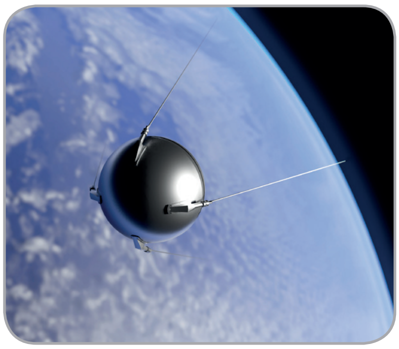
m_1 : X gezegeninin kütlesi

m_2 : Y gezegeninin kütlesi

d : X ve Y gezegenlerinin merkezleri arasındaki uzaklık

G: Kütle çekim sabiti ($G = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$)

Kendi ekseni etrafında dönen gezegenler kütle çekim kuvveti etkisiyle belirli bir yörüngede dolanım hareketi yapar. Bu hareket sırasında gezegenlerin açısal momentumu korunur. Bunun sebebi yörünge merkezine doğru olan kütle çekim kuvvetininin gezegen üzerinde bir tork oluşturmamasıdır. Benzer şekilde Ay ve yapay uyduların dolanım hareketinin sebebi de kütle çekim kuvvetidir.



Görsel 1.22: *İlk yapay uydu Sputnik-1*

Yapay uydular; iletişim, hava hareketlerinin tespiti ve askerî amaçlı birçok alanda kullanılmaktadır. İlk yapay uydu 4 Ekim 1957'de Sovyetler Birliği tarafından uzaya gönderilen Sputnik-1 adlı uydudur (Görsel 1.22).

Türkiye'nin ilk uydusu Türksat 1A 1994'te uzaya gönderilmiş ancak teknik nedenlerden düşmüştür. Daha sonra şu an aktif olmayan

Türksat 1B ve 1C uzaya gönderilmiştir. Türkiye'nin şu an 6 aktif uydusu mevcuttur. Türksat 3A, 4A (Görsel 1.23), 4B haberleşme alanında; Göktürk 1, Göktürk 2 ve Rasat uyduları ise askerî alanda hizmet vermektedir.



Görsel 1.23: *Türksat 4A uydusu*

1.4.2. Kütle Çekim İvmesinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Her kütle bir kütle çekim alanı oluşturur. Dünya, oluşturduğu kütle çekim alanıyla; yüzeyinde, içinde ve çevresinde bulunan cisimlere kütle çekim kuvveti uygular. Bu kütle çekim kuvvetinin yönü daima Dünya'nın merkezine doğrudur (Şekil 1.24).

Dünya yüzeyinden belirli bir yükseklikteki noktadan serbest bırakılan küçük bir taş parçası Dünya merkezine doğru hareket eder ve Dünya yüzeyine düşer. Bunun sebebi Dünya'nın taşa uyguladığı kütle çekim kuvvetidir. Kütle çekim kuvveti Dünya'ya da uygulanmasına rağmen Dünya'nın kütlesi taşın kütlesinden çok büyük olduğu için Dünya taşa doğru hareket etmez.

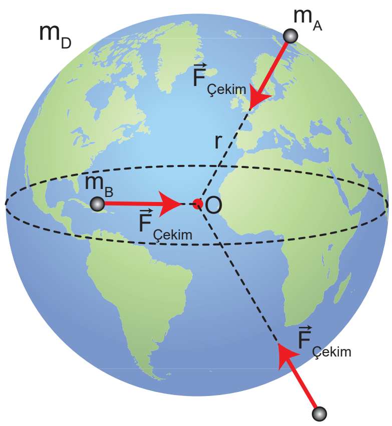
Hava sürtünmelerinin ihmal edildiği bir ortamda Dünya yüzeyindeki belirli bir noktadan serbest bırakılan cisme etki eden net kuvvet Dünya'nın cisme uyguladığı kütle çekim kuvvetidir. Cisim bu kuvvet etkisiyle ivmeli hareket yapar.

$\vec{F}_{Net} = m \cdot \vec{a}$ olduğuna göre $G \cdot \frac{m_D \cdot m_C}{d^2} = m_C \cdot a$ olur.

Buradan cismin ivmesi $a = G \cdot \frac{m_D}{d^2}$ bağıntısı ile ifade edilir.

m_D : Dünya'nın kütlesi

d : Cismin Dünya'nın merkezine olan uzaklığı



Şekil 1.24: *Dünya yüzeyindeki (m_A), içindeki (m_B) ve dışındaki (m_C) herhangi bir cisme uygulanan yer çekimi kuvveti*

Dünya'nın kütle çekim kuvveti etkisiyle cisimlere kazandırdığı bu ivmeye **kütle çekim ivmesi** ya da **yer çekimi ivmesi** denir. Bağıntıda görüldüğü gibi yer çekimi ivmesi cismin kütlesine bağlı değildir. Dünya'nın kütlesine ve cismin Dünya merkezine olan uzaklığına bağlıdır. Yer çekimi ivmesi $\vec{g}$ sembolü ile gösterilir. Vektörel bir büyüklüktür. SI'da birimi $\frac{m}{s^2}$ dir. $\frac{m}{s^2}$ aynı zamanda $\frac{N}{kg}$ ye eşittir.

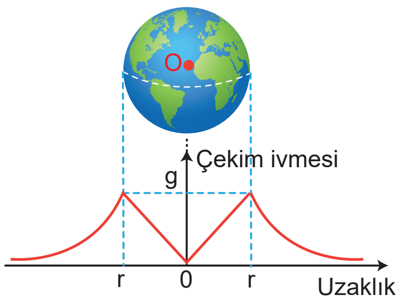
Dünya yüzeyindeki çekim ivmesi $g = G \cdot \frac{m_D}{r^2}$ bağıntısıyla hesaplanır. Bağıntıda bulunan r Dünya'nın yarıçapıdır. Yer çekimi ivmesinin büyüklüğü ortalama olarak $g = 9{,}81\ \frac{m}{s^2}$ dir. Yalaşık olarak $g = 10\ \frac{m}{s^2}$ olarak kullanılır.

Sıra Sizde - 14

Dünya yüzeyindeki bir cisme etki eden kütle çekim kuvveti cismin ağırlığı olarak tanımlanır.

Bu bilgiden yola çıkarak kütle çekim ivmesini Dünya'nın yarıçapı ve kütlesi ile ilişkilendirerek açıklayınız.

Çözüm



Şekil 1.25: *Çekim ivmesinin Dünya'nın merkezine olan uzaklığına bağlı değişim grafiği*

Dünya d yoğunluklu r yarıçaplı homojen bir küre olarak kabul edilirse Dünya'nın kütlesi $m_D = V \cdot d = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot d$ olur.

Bulunan kütle değeri çekim ivmesi bağıntısında yerine konulduğunda

$$g = \frac{G \cdot m_D}{r^2} = \frac{G \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot d}{r^2} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot G \cdot r \cdot d \text{ elde edilir.}$$

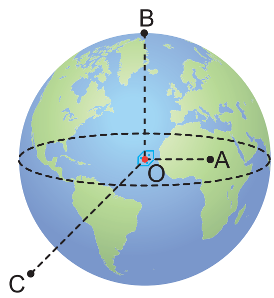
Sabit sayıların çarpımı k sabiti olarak alınırsa g = k·d·r bulunur.

Dünya'nın merkezinden yüzeye gidildikçe çekim ivmesi artar. Yüzeyde çekim ivmesi en büyük değerine ulaşırken Dünya yüzeyinden uzaklaşıldıkça çekim ivmesi, Dünya'nın merkezine olan uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır (Şekil 1.25).

Sıra Sizde - 15

Dünya'nın içinde bir A noktası, yüzeyde B noktası ve dışında C noktası belirlenmiştir.

Buna göre A, B ve C noktalarındaki çekim alanı kuvvet çizgilerinin yönlerini yandaki şekil üzerinde gösteriniz.

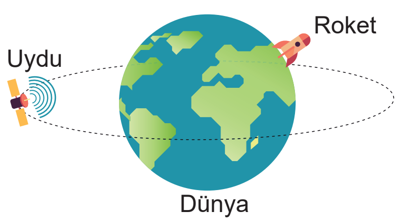


1.4.3. Kütle Çekim Potansiyel Enerjisi

Yerden belirli bir yükseklikte bulunan cisme etki eden yer çekimi kuvvetiyle cismin yer yüzeyine olan yüksekliğinin çarpımı yer çekimi potansiyel enerjisidir. Kütleler arasında oluşan kütle çekim kuvvetinin de kütleler arasındaki uzaklıkla çarpımı **kütle çekim potansiyel enerjisi** olarak tanımlanmaktadır. Kütleler arasındaki uzaklık azaldıkça kütle çekim potansiyel enerjisi azalır.

Kütle çekim kuvvetinin etkili olduğu kütlelerden birinin bulunduğu konumdaki toplam enerjisine **bağlanma enerjisi** denir. Kütlelerden birinin bu çekim kuvvetinin etkisinden kurtulması için cisme verilmesi gereken en küçük enerjiye de **kurtulma enerjisi** denir. Dünya çevresinde dolanan uydunun o yörüngede sahip olduğu enerji uydunun bağlanma enerjisidir. Uydunun Dünya'nın çekim etkisinden kurtulması için uyduya verilmesi gereken minimum enerji de kurtulma enerjisidir.

Sıra Sizde - 16



Dünya'dan uzaya fırlatılmaya hazırlanmış bir roket ve Dünya etrafında dolanan bir iletişim uydusu şekildeki gibi gösterilmiştir.

Buna göre

I. Roketin, Dünya'nın çekim alanından kurtulabilmesi için gerekli enerjiye .... denir.

II. İletişim uydusunun bulunduğu yörünge üzerinde sahip olduğu toplam enerjiye .... denir.

III. İletişim uydusunun yörüngesinde dolanmasını sağlayan kuvvete .... denir.

yukarıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.

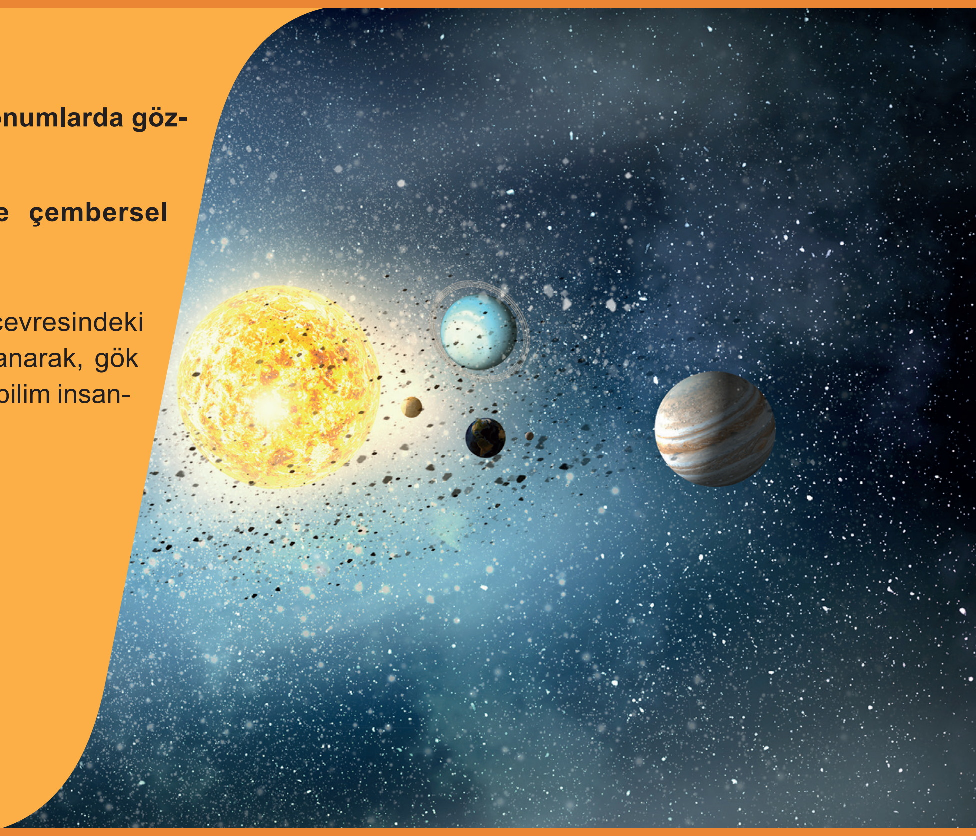
5. BÖLÜM

KEPLER KANUNLARI

Konular

- **Gün içerisinde Güneş'in farklı konumlarda gözlenmesinin sebebi ne olabilir?**
- **Gezegenler, Güneş çevresinde çembersel yörüngede mi dolanır?**

Bu bölümde, gezegenlerin Güneş çevresindeki hareketleri Kepler Kanunları'yla açıklanarak, gök cisimleri ile ilgili çalışmalar yapan bazı bilim insanları hakkında bilgi verilecektir.



1.5.1. Kepler Kanunları

Johannes Kepler (Yuhannes Kepler) (Görsel 1.24), gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketini Newton'ın kütle çekim kuvvetine dayandırarak üç kanunla açıklamıştır.



Görsel 1.24: *Johannes Kepler (Temsili resmi)*

Meraklısına Bilgi

Johannes Kepler (1571-1630)

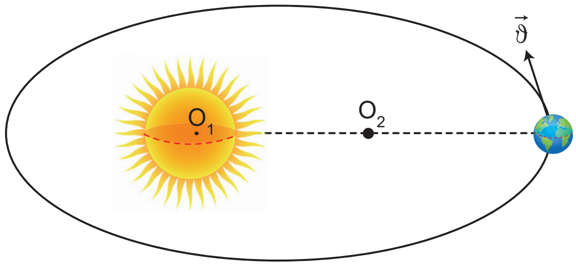
Johannes Kepler, 27 Aralık 1571'de Güneybatı Almanya'da doğdu. 16 ve 17. yüzyıllardaki bilimsel devrimin en önemli temsilcilerinden biridir.

Kepler, Tübingen Üniversitesinde öğrenim gördü. Kopernik'in yeni dünya sistemiyle tanıştı. Ünlü gökyüzü gözlemcisi Tycho Brahe'yle (Taykıl Brah) birlikte çalıştı. Uzun yıllar emek vererek keşfettiği ve kendi adıyla anılan üç yasa nedeniyle astronomide büyük bir ün kazandı. Optik ve matematik alanlarına da önemli katkılarda bulundu.

Kepler'in bilim dünyasındaki ünü, gezegenlerin hareketlerinin dayandığı yasaları tespit etmesi, Kopernik'in Güneş Sistemi Kuramı'nı kesinleştirmesi ve modern astronominin temellerini güçlendirmesi gibi çalışmalarından ileri gelir.

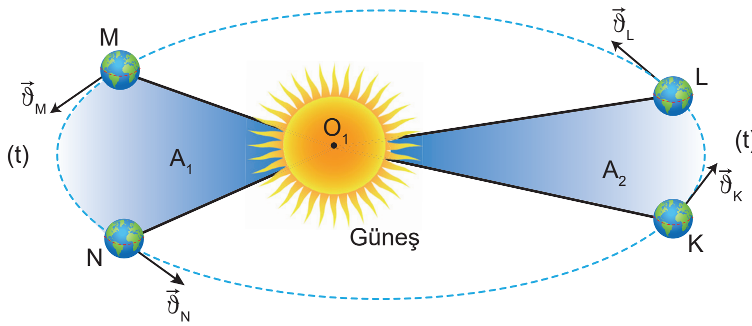
1. Yörüngeler Kanunu

Gezegenler, odaklarının birinde Güneş bulunan elips şeklindeki yörüngelerde dolanır. Buna **yörüngeler kanunu** denir (Şekil 1.26).



Şekil 1.26: *Dünya'nın Güneş etrafındaki eliptik yörüngesi (O_1 ve O_2 elipsin odaklarıdır.)*

2. Alanlar Kanunu



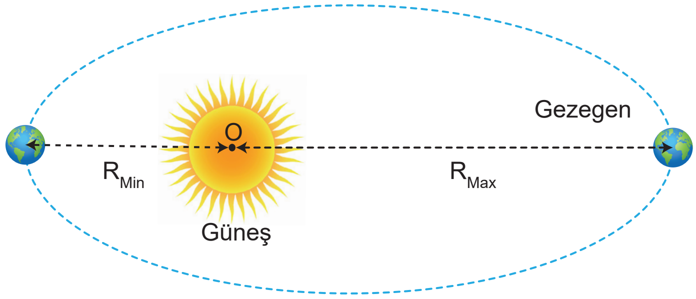
Şekil 1.27: *Dünya, Güneş etrafında dolanırken yarıçap vektörünün eşit zaman aralıklarında taradığı alanlar*

Dünya, Güneş etrafında Şekil 1.27'deki gibi dolanırken K'dan L'ye ve M'den N'ye eşit sürede ulaşırsa yarıçap vektörünün tarayacağı A_1 ve A_2 alanları da birbirine eşit olur. Açısal momentumun korunumu yasasına göre Dünya'nın hızı Güneş'e yaklaştıkça artar. Bu nedenle KL yayının uzunluğuyla MN yayının uzunluğu eşit değilken A_1 ve A_2 alanları birbirine eşittir.

3. Periyotlar Kanunu

Gezegenlerin Güneş etrafındaki dolanımları sırasında ortalama yörünge yarıçaplarının küpünün, dolanım periyotlarının karesine oranı daima sabittir. Buna **periyotlar kanunu** denir.

Gezegenlerin Güneş'e en yakın olduğu mesafeye R_{Min}, en uzak olduğu mesafeye R_{Max} denir.



Şekil 1.28: *Gezegenin Güneş'e en yakın ve en uzak olduğu konumlar*

Güneş etrafında dolanan gezegenin (Şekil 1.28) Güneş'e olan ortalama uzaklığına **ortalama yarıçap** denir. R_{Ort} ile gösterilen ortalama yarıçap

$$R_{Ort} = \frac{R_{Max} + R_{Min}}{2}$$ bağıntısıyla bulunur.

Periyotlar kanununa göre $\frac{R^3}{T^2} = 3{,}367 \cdot 10^{18}\ \frac{m^3}{s^2}$ ye eşittir.

Güneş etrafında ortalama R_1, R_2 ve R_3 yarıçaplı yörüngelerde dolanan gezegenler için periyotlar kanunu

$$\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2} = \frac{R_3^3}{T_3^2} = \text{sabit}$$ şeklinde ifade edilir.

Gökyüzü, insanlığın ilgisini hep çektiği için Kepler'den önce de birçok bilim insanı gökyüzüyle ilgili çalışmalar yapmıştır. 15. yüzyılda Semerkant'ta kurduğu rasathanede gökyüzünün haritasını çıkararak "Zic-i Uluğ" denilen yıldız kataloğunu oluşturan Uluğ Bey bunlardan biridir. Bu katalog Batlamyus'un (MS 85-165) uzun yıllar evrenle ilgili gözlemleriyle oluşturduğu evren modeli, ölçüm cetvelleri ve yıldız kataloğundan çok daha kapsamlı olduğu için sonraki dönemlerde bilim insanlarının rehberi olmuştur. Uluğ Bey'in yıldız kataloğundan yararlanarak oluşturduğu Gürgani Takvimi ise dönemin bilimsel tek takvimidir.

Uluğ Bey'in öğrencisi olan Ali Kuşçu yaptığı çalışmalarda Ay'ın haritasını çıkarmış ve Ay'ın yüzeyi ile ilgili bilgileri detaylı olarak ortaya koymuştur. Farsça kaleme aldığı "Risaletün Fi'l Hey" (Astronomi Risalesi) adlı eserinde Dünya'yı yuvarlak olarak çizmiş ve Dünya yüzeyinde Türklerin yaşadığı bölgeleri göstermiştir. "Risaletü'l Fethiye" adlı eserinde de gök cisimleri ile yeryüzü arasındaki uzaklıklara değinmiştir.

1609 yılında kendi teleskobunu yapan Galileo Galilei (Galileo Galile-1564-1642) teleskobuyla yaptığı incelemelerde Samanyolu Galaksisi'nde sönmüş yıldızlar olduğunu gözlemlemiştir. Yıldızların ışık yaydığı hâlde gezegenlerin ışık yaymadığını ve Güneş'in yüzeyinde lekeler olduğunu keşfetmiştir. Yaptığı çalışmalarla Kopernik'in Güneş merkezli sistem teorisini destekleyen sonuçlar elde etmiştir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.

açısal momentum	merkezine	eylemsizlik momenti
dönme	frekans	düzgün çembersel
yarıçap	geometrik şekli	açısal hız
periyot	alanlar	kütle

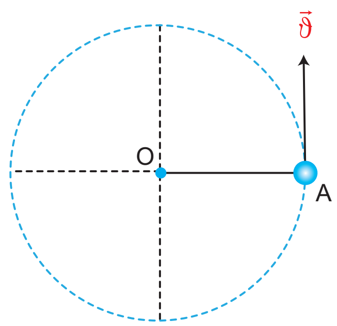
1. Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin tam bir dolanımı için geçen süreye ………………… denir.
2. Düzgün çembersel hareket yapan cismin birim zamandaki tur sayısına ………………… denir.
3. Düzgün çembersel hareket yapan cisme etki eden merkezcil kuvvet daima hareketin ………………… doğrudur.
4. Çembersel bir yörüngede sabit büyüklükte hızla dolanan cismin yapmış olduğu harekete ………………… hareket denir.
5. Cisimlerin dönmeye karşı gösterdikleri dirence ………………… denir.
6. Çembersel hareket yapan cisme etki eden dış bir tork yoksa ………………… korunur.
7. Dönerek öteleme hareketi yapan bir cismin hem öteleme hem de ………………… kinetik enerjisi vardır.
8. Uydunun gezegen etrafındaki dolanım hızı, uydunun ………………… bağlı değildir.
9. Kepler'e göre gezegenler, Güneş etrafında dolanırken yarıçap vektörü eşit sürede eşit ………………… tarar.
10. Çembersel hareket yapan bir cismin çizgisel hızı ………………… vektörüne daima diktir.
11. Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin yarıçap vektörünün birim zamanda taradığı açı miktarına ………………… denir.
12. Eylemsizlik momenti cismin kütlesine, her bir noktanın dönme eksenine olan dik uzaklığına ve cismin ………………… bağlıdır.

B) Aşağıdaki soruların cevaplarını boş bırakılan alana yazınız.

13. Azra, bindiği dönme dolapla 5 tam tur döndükten 10 dakika sonra iniyor. Azra, geçen 10 dakikalık süreyi 5 tam tur sayısına böldüğünde 2 dakikalık ortalama bir değer buluyor. **Bulunan bu değer hangi fiziksel niceliğin büyüklüğüdür?**

Cevap: ……………………………………………

14. Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cismin periyodu 8 saniyedir.



Cisim A noktasından geçtikten 6 saniye sonra ip koparsa bu andan itibaren hangi atış hareketini yapar?

Cevap: ……………………………………………

15. **Açısal hızın birim zamandaki değişme miktarı hangi fiziksel büyüklükle ifade edilir?**

Cevap: ……………………………………………

16. **Hareket hâlindeki bir trenin tekerlekleri dönme hareketi ile birlikte hangi hareket çeşidini yapar?**

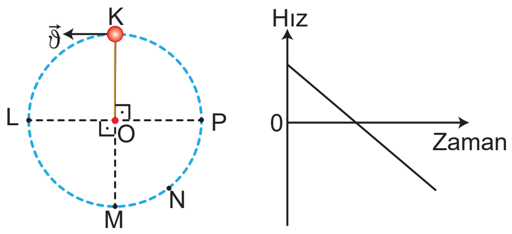
Cevap: ……………………………………………

17. **Ay'ın yüzey haritasını çıkaran ve Uluğ Bey'in öğrencisi olan bilim insanımız kimdir?**

Cevap: ……………………………………………

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

18. Bir ipin ucuna bağlanmış cisme Şekil I'deki gibi düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.

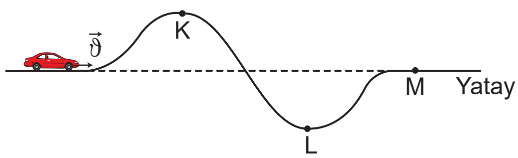


Şekil I Şekil II

Cisim hangi noktadan geçerken ip koparsa cismin bu andan itibaren yaptığı hareketin hız-zaman grafiği Şekil II'deki gibi olur?

A) K B) L C) M D) N E) P

19. Bir araç hızının büyüklüğünü değiştirmeden K, L ve M noktalarından geçerek yoluna devam ediyor.



Araç bu noktalardan geçerken yolun arabaya uyguladığı tepki kuvvetleri N_K, N_L ve N_M arasındaki büyüklük ilişkisi hangi seçenekte doğru verilmiştir?

A) $N_K > N_M > N_L$ B) $N_L > N_M > N_K$
C) $N_L > N_K > N_M$ D) $N_M > N_L > N_K$
E) $N_M > N_K > N_L$

20. Cisimlerin kütlelerinden dolayı

I. Her kütlenin bir kütle çekim alanı vardır.

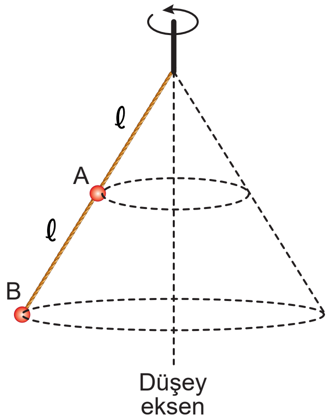
II. Bir cismin Dünya'nın kütle çekim alanından kurtulması için sahip olması gereken en küçük enerjiye bağlanma enerjisi denir.

III. İki kütle arasındaki uzaklık azaldıkça kütle çekim potansiyel enerjisi azalır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

21. 2ℓ uzunluklu bir ipin ortasına ve ucuna bağlanmış kütleleri sırasıyla 2m ve m olan A ve B cisimlerine düşey eksen etrafında düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.



Buna göre

I. Cisimlerin açısal hızları eşittir.

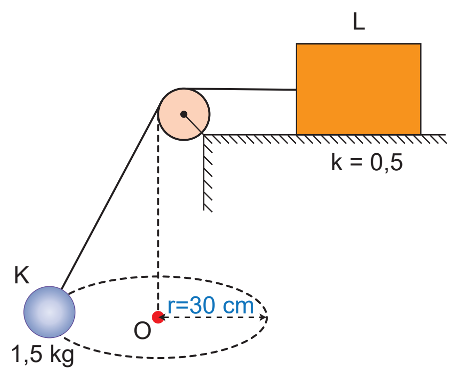
II. Cisimlerin çizgisel hızları eşit büyüklüktedir.

III. Cisimlere etki eden merkezcil kuvvetler eşit büyüklüktedir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

22. Bir ipin ucuna bağlanmış 1,5 kg kütleli K cismi r = 30 cm yarıçaplı yörüngede ϑ = 2 m/s'lik sabit hız büyüklüğüyle dönmekteyken ipin diğer ucuna bağlı L cismi hareketsiz kalıyor.

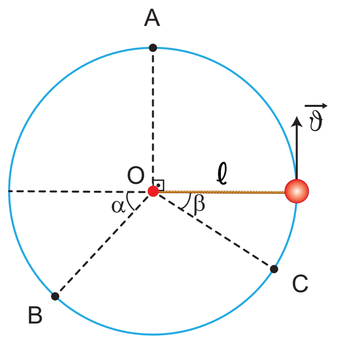


L cismiyle zemin arasındaki statik sürtünme katsayısı k = 0,5 olduğuna göre L cisminin kütlesi en az kaç kilogramdır?
(g = 10 m/s^2)

A) 7 B) 6 C) 5 D) 4 E) 3

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

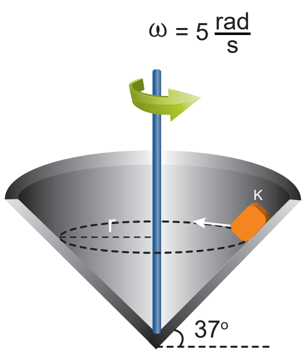
23. ℓ uzunluklu ipin ucuna bağlanmış m kütleli cisme düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.



Cismin, hareket yörüngesi üzerinde verilen A, B ve C noktalarından geçerken ipte oluşan gerilme kuvveti T_A, T_B ve T_C arasındaki büyüklük ilişkisi hangi seçenekte doğru verilmiştir? ($\alpha > \beta$)

A) $T_A > T_B > T_C$
B) $T_C > T_B > T_A$
C) $T_A > T_C > T_B$
D) $T_B > T_C > T_A$
E) $T_B > T_A > T_C$

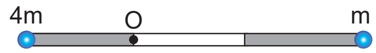
24. m kütleli bir K cismi şekildeki gibi düşey kesiti verilen koninin merkezinden geçen eksen etrafında sabit $\omega = 5\ \frac{rad}{s}$ lik açısal hızla r yarıçaplı yörüngede hareket etmektedir.



Sistem sürtünmesiz olduğuna göre cismin r yarıçaplı yörüngede, yörünge yarıçapını değiştirmeden düzgün çembersel hareket yapabilmesi için r kaç cm olmalıdır? (sin 37° = 0,6 cos 37° = 0,8 g = 10 m/s^2)

A) 60 B) 50 C) 40 D) 30 E) 20

25. Sabit O noktası etrafında dönebilen kütlesi önemsiz eşit bölmeli çubuğa m ve 4m kütleli cisimler şekildeki gibi sabitlenmiştir.



Buna göre

I. Açısal hızları

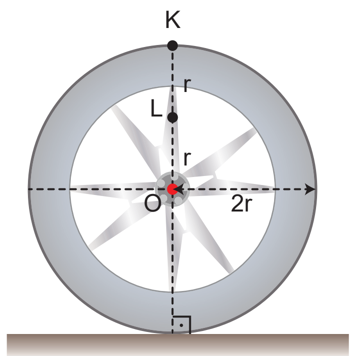
II. Eylemsizlik momentleri

III. Açısal momentumları

büyüklüklerinden hangileri iki cisim için de aynıdır?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

26. Dönerek öteleme hareketi yapan tekerleğin üzerindeki K noktasının yere göre hızının büyüklüğü ϑ_K, L noktasının yere göre hızının büyüklüğü ϑ_L dir.



Buna göre $\frac{\vartheta_K}{\vartheta_L}$ oranı kaçtır?

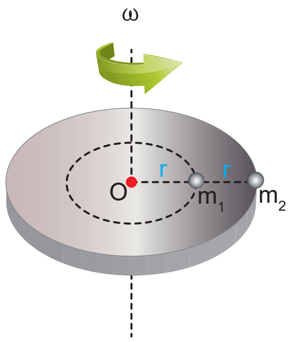
A) 1 B) $\frac{5}{4}$ C) $\frac{4}{3}$ D) $\frac{3}{2}$ E) 2

27. "Bir gezegenin yüzeyindeki kütle çekim ivmesinin büyüklüğü gezegenin kütlesiyle doğru, yarıçapının karesiyle ters orantılıdır."

Dünya yüzeyinde kütle çekim ivmesi g dir. Kütlesi Dünya'nın kütlesine eşit, yarıçapı Dünya'nın yarıçapının 2 katı olan bir gezegenin yüzeyindeki çekim ivmesi kaç g olur?

A) $\frac{g}{4}$ B) $\frac{g}{2}$ C) g D) 2g E) 4g

28. m_1 ve m_2 kütleli cisimler, merkezinden geçen düşey eksen etrafında ω açısal hızı ile dönen diskin üzerine yapıştırılıyor.



Cisimlerin açısal momentumları eşit olduğuna göre $\frac{m_1}{m_2}$ oranı kaçtır?

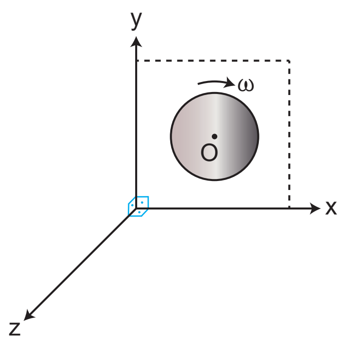
A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

29. "İki kütle arasındaki kütle çekim kuvveti cisimlerin kütleleri çarpımıyla doğru, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır." Aralarında d kadar uzaklık bulunan K ve L cisimleri arasındaki kütle çekim kuvvetinin büyüklüğü F'dir.

Cisimlerin arasındaki uzaklık sabit kalmak şartıyla K cisminin kütlesi 4 katına çıkarılırken L cisminin kütlesi yarıya düşürülürse cisimlerin arasındaki kütle çekim kuvvetinin büyüklüğü kaç F olur?

A) 1 B) $\frac{3}{2}$ C) 2 D) $\frac{5}{2}$ E) 3

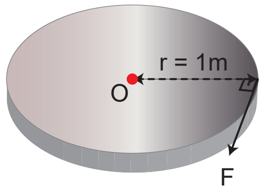
30.



x-y düzlemi üzerinde ω hızıyla sabit bir eksen etrafında dönen diskin fizikteki temel büyüklüklerden biri olan açısal momentumu hangi yöndedir?

A) -z B) +z C) -x D) -y E) +x

31. Kütlesi 2 kg, yarıçapı 1 m olan bir disk, sabit F kuvvetinin etkisi altında O noktasından geçen düşey eksen etrafında 4s^{-2} açısal ivmeyle döndürülüyor.

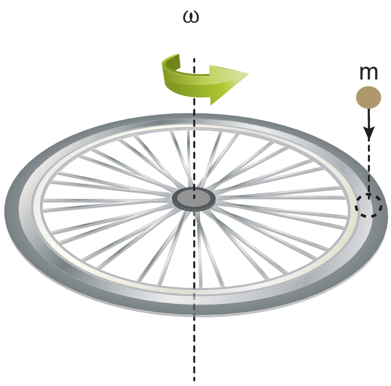


Buna göre diske uygulanan kuvvetin oluşturduğu tork kaç N·m olur?

($I_{Disk} = \frac{3}{2} \cdot m \cdot r^2$)

A) 6 B) 8 C) 9 D) 10 E) 12

32. Bir bisiklet tekerleği merkezinden geçen düşey sabit bir eksen etrafında ω açısal hızıyla dönerken şekildeki gibi m kütleli yapışkan bir macun serbest kalarak tekerleğe yapışıyor.



Buna göre tekerleğin

I. Açısal hızı azalır.

II. Eylemsizlik momenti azalır.

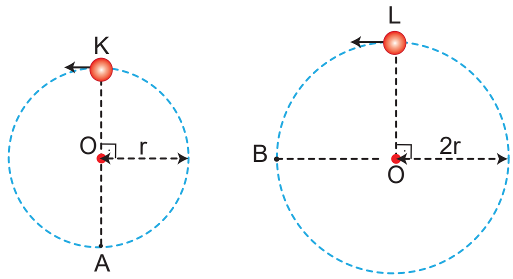
III. Açısal momentumu azalır.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

33. Sırasıyla r ve 2r yarıçaplı yörüngelerde düzgün çembersel hareket yapan K ve L cisimleri şekildeki konumlardan aynı anda ve verilen yönlerde geçiyor.

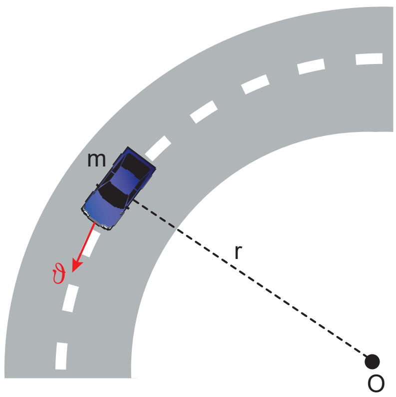


K cismi ilk kez A noktasına ulaştığında L cismi ilk kez B noktasına gelmektedir.

K ve L cisimlerinin merkezcil ivmelerinin büyüklüğü sırasıyla a_K ve a_L ise $\frac{a_K}{a_L}$ oranı kaçtır?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

34. Sürtünmeli yatay bir yolda hareket eden bir araç viraja girdiğinde dışa doğru savrulmaktadır.



Aracın dışa doğru savrulmaması için

I. Gerekli hız limitlerine uymak

II. Aracın kütlesini artırmak

III. Sürtünme katsayısı daha büyük olan lastikler kullanmak

işlemlerinden hangileri tek başına yapılır?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

D) Aşağıdaki açık uçlu soruların cevabını boş bırakılan alana yazınız.

35.



Düşey düzlemden eşit açılarla açılan uçaklara 1 den 6 ya kadar numaralar verilmiştir. Tek sayı verilen uçakların hareket süresince yörünge yarıçapları 2 metre, çift sayı verilen uçakların yörünge yarıçapları ise 3 metredir.

Hafta sonu ailece lunaparka giden Selim ve Betül kardeşler, anne ve babasına uçaklara binmek istediklerini söyler. Betül 2, Selim 5 numaralı uçağa biner.

a) **Uçaklar 3 dakikada 6 tur attığına göre Betül'ün 1 saniyede attığı tur sayısı kaçtır?**

Çözüm

b) **Selim'in bindiği uçak saniyede kaç metre yol alır?** (π = 3 alınız.)

Çözüm

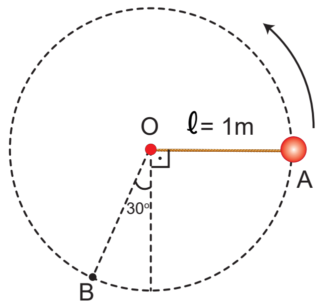
c) **Betül'ün merkezcil ivmesinin büyüklüğünün Selim'in merkezcil ivmesinin büyüklüğüne oranı kaçtır?**

Çözüm

d) **Selim'in kütlesi 40 kg olduğuna göre dönme süresince Selim'e etki eden merkezcil kuvvet kaç N'dır?**

Çözüm

36. 1 metre uzunluğundaki ipin ucuna bağlanmış bir cisme ok yönünde düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.



Cisim A noktasından B noktasına 2 saniyede geldiğine göre

a) **A ve B noktalarından geçerken sahip olduğu anlık hız vektörlerini çiziniz.**

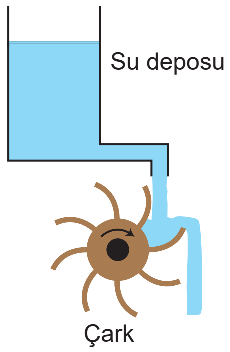
b) **Hareketin frekansını bulunuz.**

c) **Cismin çizgisel hızının büyüklüğünü hesaplayınız.** (π = 3 alınız.)

d) **Cisim A ve B konumundan geçerken merkezcil ivmesinin yönünü çiziniz ve büyüklüğünü hesaplayınız.**

Çözüm

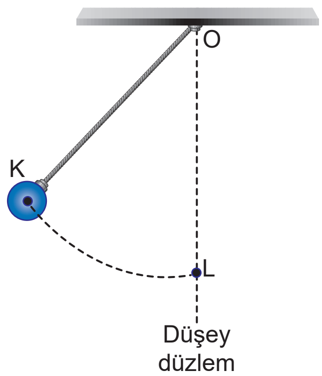
37. Depodan akan su, çarkın pervanelerine çarparak dönmesini sağlamaktadır.



Çarkın açısal hızının artması için yapılabilecek değişikliklerden iki tanesini yazınız.

Çözüm

38. Sürtünmelerin önemsiz olduğu ortamda bir iple O noktasından tavana asılı olan cisim K noktasından serbest bırakılıyor.



Cisim K den L ye gelirken

I. Eylemsizlik momenti artar.

II. Açısal ivmesi azalır.

III. Açısal hızı artar.

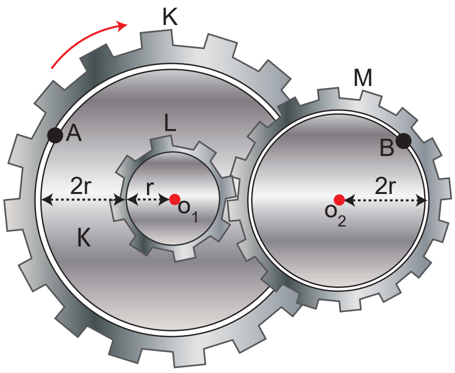
ifadelerinden hangileri doğru olur?

Çözüm

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

39. Yarıçapları şekildeki gibi verilen merkezlerinden geçen eksen etrafında serbestçe dönebilen K, L ve M dişlilerinden K ve L dişlileri eş merkezlidir.



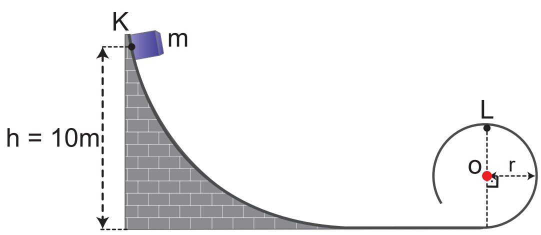
K dişlisi ok yönünde döndürüldüğünde

a) **K dişlisi üzerindeki A noktasının açısal hızı ω_A, M dişlisi üzerindeki B noktasının açısal hızı ω_B olduğuna göre $\frac{\omega_A}{\omega_B}$ oranı kaçtır?**

b) **K dişlisi üzerindeki A noktasının çizgisel hızı ϑ_A, M dişlisi üzerindeki B noktasının çizgisel hızı ϑ_B olduğuna göre $\frac{\vartheta_A}{\vartheta_B}$ oranı kaçtır?**

Çözüm

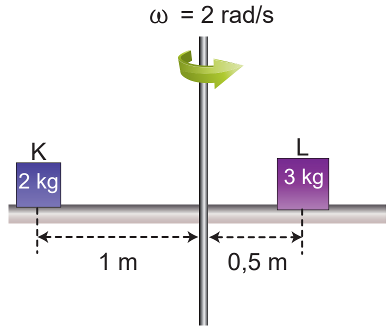
40.



Sürtünmelerin önemsiz olduğu şekildeki 2 m yarıçaplı ray sisteminde m kütleli cisim K noktasından serbest bırakılıyor. Cisim L noktasından geçerken yüzeyin cisme gösterdiği tepki kuvveti kaç m·g dir? (g: Yer çekimi ivmesidir.)

Çözüm

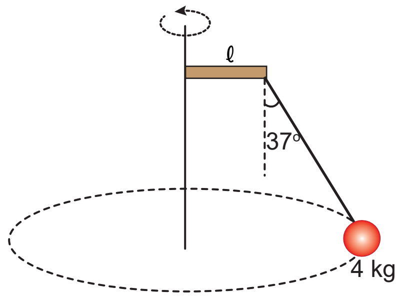
41. Ortasından geçen düşey eksen etrafında $2\ \frac{rad}{s}$ lik sabit büyüklükteki açısal hızla döndürülen sürtünmeli tabla üzerindeki K ve L cisimlerine şekildeki konumlarda kaymadan düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.



Cisimler ile yüzey arasındaki statik sürtünme katsayısı 0,5 olduğuna göre K ve L cisimlerine etki eden sürtünme kuvvetlerini bulunuz.

Çözüm

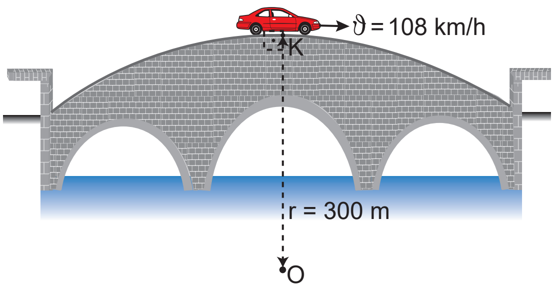
42. Düşey eksen etrafında $\sqrt{5}\ \frac{rad}{s}$ lik sabit büyüklükte açısal hızla dönen ℓ uzunluklu bir çubuğun ucuna bağlanmış 1 metre uzunluğundaki ipin ucunda bulunan m = 4 kg kütleli cisme düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.



Buna göre çubuğun uzunluğu (ℓ) kaç cm'dir?

Çözüm

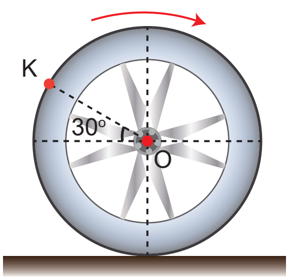
43. Bir araç eğrilik yarıçapı 300 m olan taş köprüyü 108 km/h büyüklüğünde sabit bir hızla geçiyor.



Aracın kütlesi 1300 kg olduğuna göre araç K noktasından geçerken köprünün ayaklarındaki yük değişimi kaç N'dır?
($g = 10 \frac{N}{kg}$)

Çözüm

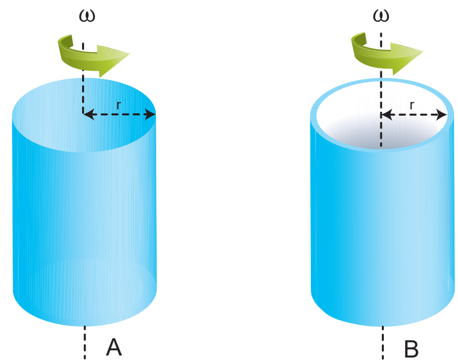
44. Tekerlek 5 m/s'lik öteleme hızıyla dönerek öteleme hareketi yapmaktadır.



Tekerlek üzerindeki K noktasının yere göre anlık hızının büyüklüğü kaç $\frac{m}{s}$ dir?

Çözüm

45. Kütleleri, yarıçapları ve yükseklikleri eşit olan içi dolu A silindiriyle kalınlığı ihmal edilen içi boş B silindiri, merkezlerinden geçen eksen etrafında ω açısal hızıyla döndürülmektedir.



Buna göre

I. Eylemsizlik momentleri

II. Kinetik enerjileri

III. Açısal momentumları

büyüklüklerinden hangileri A ve B silindirleri için farklıdır?

Çözüm

46. I. Hassas bir dinamometreyle ölçülen bir cismin ağırlığı Ankara ve Antalya'da farklı değerler gösterir.

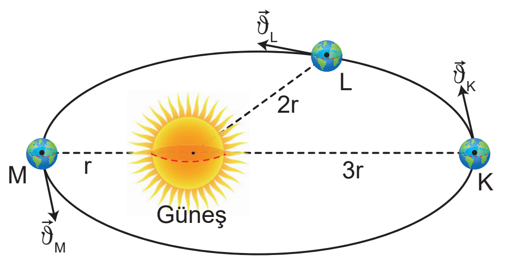
II. Düzgün geometriye ve özkütleye sahip gökdelenlerin ağırlık merkezi, kütle merkezinin altında bir noktadadır.

Yukarıdaki olayların sebebini kısaca açıklayınız.

Çözüm

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

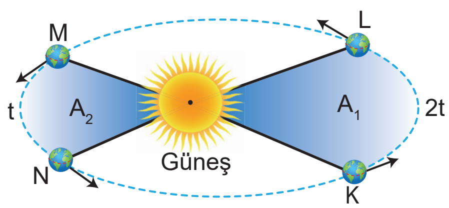
47. Dünya'nın Güneş etrafındaki dolanımı sırasında Dünya K, L ve M noktalarından geçerken hız büyüklükleri sırasıyla ϑ_K, ϑ_L ve ϑ_M olmaktadır.



Buna göre ϑ_K, ϑ_L ve ϑ_M arasındaki büyüklük ilişkisi nasıldır?

Çözüm

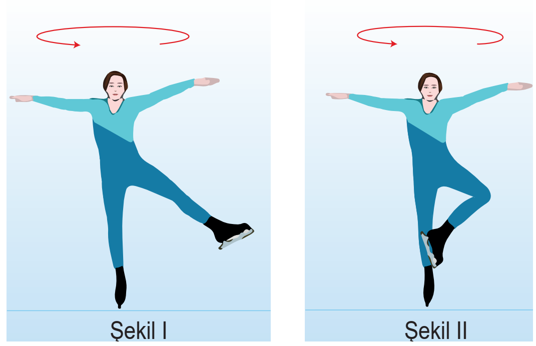
48. Dünya'nın Güneş etrafındaki dolanımı sırasında yörüngesi üzerindeki K noktasından L noktasına 2t sürede, M noktasından N noktasına t sürede gelmektedir.



Buna göre yarıçap vektörünün K-L arasında taradığı alan A_1, M-N arasında taradığı alan A_2 ise $\frac{A_1}{A_2}$ oranı kaçtır?

Çözüm

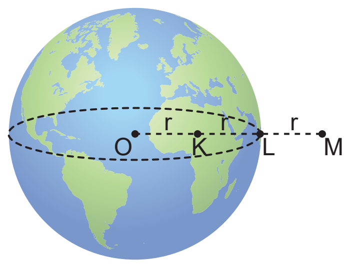
49. Bir buz pateni sporcusu Şekil I'deki gibi dönme hareketi yapmaktadır.



Buz pateni sporcusu Şekil II'deki gibi havadaki ayağını yere değmeyecek şekilde diğer ayağına yaklaştırdığında dönme hızı nasıl değişir? Açıklayınız.

Çözüm

50.



Dünya homojen bir küreye benzetilirse K, L ve M noktalarındaki çekim ivmelerini büyüklüklerine göre sıralayınız?

Çözüm

2. ÜNİTE

BASİT HARMONİK HAREKET



Birinci ünitede düzgün çembersel hareket konusunda verilen bilgilerden yararlanılarak basit harmonik hareket açıklanacaktır. Ayrıca basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimi analiz edilecektir.

Basit harmonik harekette kuvvet, hız ve ivmenin konuma göre değişimiyle ilgili hesaplamalar yapılacak, yay sarkacı ve basit sarkaçta periyodun bağlı olduğu değişkenler belirlenip hesaplamalar üzerinde durulacaktır.

1. BÖLÜM: BASİT HARMONİK HAREKET



1. BÖLÜM

BASİT HARMONİK HAREKET

Konular

2.1.1. Basit Harmonik Hareketin Düzgün Çembersel Hareket Kullanılarak Açıklanması

2.1.2. Basit Harmonik Harekette Konumun Zamana Göre Değişimi

2.1.3. Basit Harmonik Harekette Kuvvet, Hız ve İvmenin Konuma Göre Değişimi

2.1.4. Yay Sarkacı ve Basit Sarkaçta Periyodun Bağlı Olduğu Değişkenler

2.1.5. Yay Sarkacı ve Basit Sarkacın Periyodu ile İlgili Hesaplamalar

Anahtar Kavramlar

- Uzanım
- Genlik
- Geri çağırıcı kuvvet
- Denge noktası
- Yay sarkacı
- Basit sarkaç

- **Sarkaçlı bir saat, Rize'de deniz kenarında zamanı doğru gösterirken Ayder Yaylası'nda saatin geri kalmasının sebebi ne olabilir?**
- **İskeleye bağlı sandal deniz dalgalandığında nasıl bir hareket yapar?**

Bu bölümde, basit harmonik hareket yapan yay sarkacı ve basit sarkaç için kullanılan uzanım, genlik, periyot, frekans, geri çağırıcı kuvvet ve denge noktası kavramları açıklanacaktır.

Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişim grafiği çizilecek ve grafik yorumlanacaktır. Kuvvet, hız ve ivmenin konuma göre değişimiyle ilgili hesaplamalar yapılacak, periyoda etki eden değişkenler belirlenecek ve periyodun matematiksel modeli çıkarılacaktır.



2.1.1. Basit Harmonik Hareketin Düzgün Çembersel Hareket Kullanılarak Açıklanması

Belirli aralıklarla tekrarlanan hareketlere **periyodik hareket** denildiği bir önceki ünitede ifade edilmişti. Bir cismin periyodik hareketini herhangi bir eksen üzerindeki sabit bir nokta etrafında gerçekleştirmesine **titreşim hareketi** denir.

Dünyadaki bütün seslerin kaynağı, titreşim hareketi yapan sistemlerdir. Ses, konuşma sırasında ses tellerinin titreşmesiyle oluşur. Gitar teli, üzerinde bulunduğu eksene dik olarak çekilip bırakıldığında harekete başladığı nokta etrafında titreşim hareketi yapar ve ses oluşur (Görsel 2.1). Davul ve bateri gibi vurmalı çalgılarda ise gergin yüzeylerin titreşimi sesin çıkmasını sağlar.



Görsel 2.1: *Gitar*

Salıncakta sallanan bir çocuğun denge noktası etrafında yaptığı hareket, salınım hareketidir (Görsel 2.2).



Görsel 2.2: *Salıncakta sallanan çocuk*

Duvar saatlerinde sarkacın salınımı da bir titreşim hareketidir (Görsel 2.3). Bu hareket sırasında sarkaç, bir uçtan diğer uca bir saniye sürede ulaşır. Her iki saniyede bir, aynı hareket tekrarlanır. Bu sarkaçlara **saniyeleri vuran sarkaç** da denir.



Görsel 2.3: *Sarkaçlı saat*

Müzikte sabit bir ritim tutturmak amacıyla kullanılan alete **metronom** denir. Metronom belli aralıklarla vuruş sesleri çıkararak ritim elde edilmesini sağlar (Görsel 2.4).

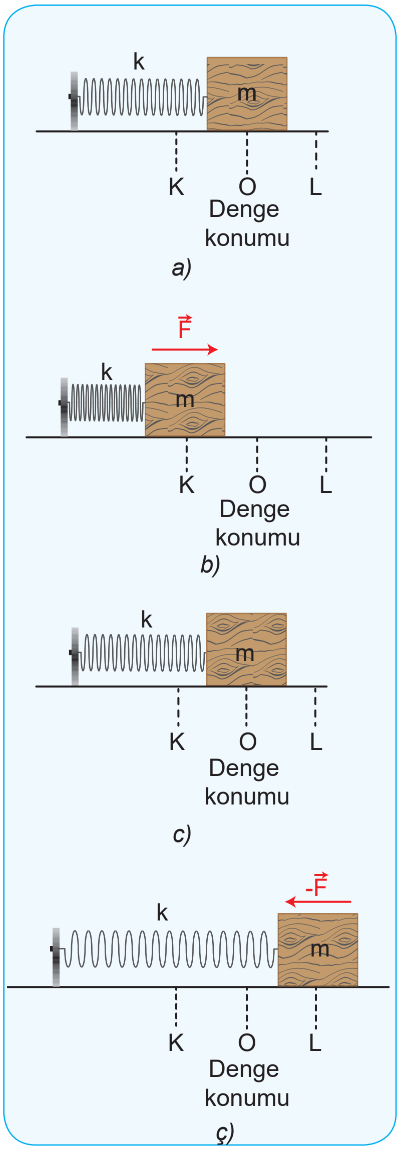


Görsel 2.4: *Metronom*

Dalgalı bir denizde iskeleye bağlanmış bir sandalın su yüzeyinde düşey düzlemde yapmış olduğu hareket de titreşim hareketi olarak adlandırılabilir.

Titreşim hareketlerinin bazılarını duyu organları algılayamaz. Katı moleküllerinin denge noktaları etrafındaki titreşimler, bunlara örnek olarak verilebilir.

Sürtünmesiz yatay bir düzlem üzerinde gerilmemiş veya sıkıştırılmamış yay sabiti k olan yayın ucuna bağlı m kütleli cismin bulunduğu konum, **denge konumu** ya da **denge noktası** olarak ifade edilir.



Şekil 2.1: *Kütle yay sistemi*

Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda denge konumu O noktası olan kütle yay sisteminde (Şekil 2.1: a) cisim denge noktasında iken üzerine etki eden bileşke kuvvet sıfırdır. Cisim, denge noktasından K noktasına kadar sıkıştırılıp serbest bırakıldığında yayda oluşan sıkışma kuvveti, cismi denge noktasına doğru hareket ettirir (Şekil 2.1: b).

Yönü denge noktasına doğru olan kuvvetin etkisiyle kinetik enerji kazanan cisim denge noktasına kadar gelir (Şekil 2.1: c). Cisim kazandığı kinetik enerji nedeniyle O noktasından geçip sıkışma miktarı kadar yayı gererek L noktasında durur (Şekil 2.1: ç).

Cisim, denge noktasından L noktasına giderken yayda oluşan kuvvetin yönü O noktasına doğrudur. Cisim ne zaman denge konumundan uzaklaşırsa yayda oluşan kuvvet, onu tekrar denge konumuna doğru çağırma eğilimindedir. Bu özellikteki kuvvetlere **geri çağırıcı kuvvet** denir. Cisim bu kuvvetin etkisiyle K ve L noktaları arasındaki salınım hareketine devam eder.

Konum vektörüne daima zıt yönlü olan bu kuvvet, cismin yer değiştirmesiyle doğru orantılıdır. Hooke (Huk) Yasası'na göre bu kuvvet

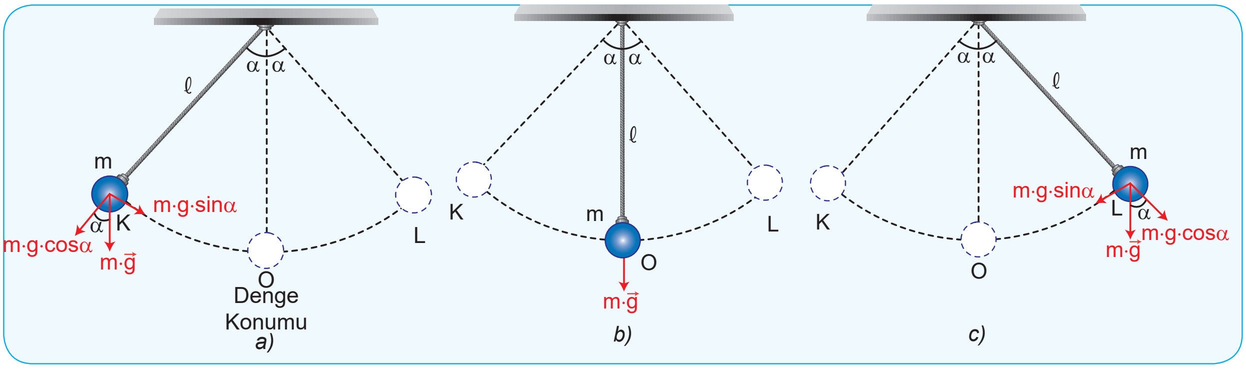
$\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$ ifadesiyle bulunur.

k : Yay sabiti ($\frac{N}{m}$)

$\vec{x}$: Konum vektörü (m)

Sürtünmelerin önemsenmediği bir ortamda denge konumuna eşit uzaklıktaki iki nokta arasında ve belirli zaman aralıklarında kendini tekrarlayan titreşim hareketine **basit harmonik hareket** denir.

Basit harmonik hareket, esnemeyen ve kütlesi önemsiz bir ipin ucuna bağlı m kütlesiyle oluşturulan ip sarkacı üzerinde de incelenebilir. İp sarkacında basit harmonik hareketin gerçekleşme koşulu, ipin düşey eksenle yaptığı açı 10° ye eşit ya da 10° den küçük olmalıdır.



Şekil 2.2: *Basit sarkaç sistemi*

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamdaki (Şekil 2.2) basit sarkacın denge konumu O noktasıdır. Sarkaç düşey eksenle küçük bir açı yapacak şekilde K noktasına kadar çekilip bırakıldığında (Şekil 2.2: a), cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü $m \cdot g \cdot \sin\alpha$ kadardır. Bu kuvvetin etkisiyle hızlanan cisim denge konumuna ulaşır (Şekil 2.2: b).

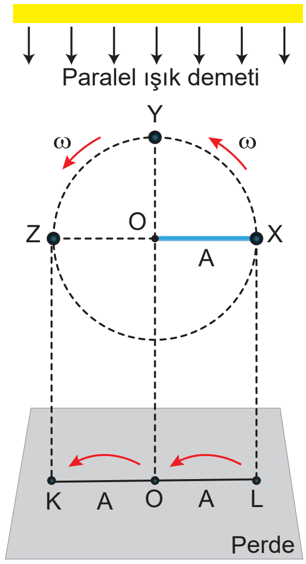
Cisim, bu noktada sahip olduğu kinetik enerjiyle tekrar yükselerek aynı açıyı yapacak şekilde L noktasına kadar çıkar ve durur (Şekil 2.2: c). Bu hareket, periyodik olarak tekrarlanır.

Basit Harmonik Hareket ile Düzgün Çembersel Hareket Arasındaki İlişki

Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, yatay ve düşey eksendeki iz düşümünün yapmış olduğu hareket, basit harmonik harekettir.

Saydam çubuğun ucuna yerleştirilen mat cisim (Şekil 2.3), O noktası etrafında sabit bir açısal hızla döndürüldüğünde, cisim X noktasından geçerken gölgesi L noktasındadır.

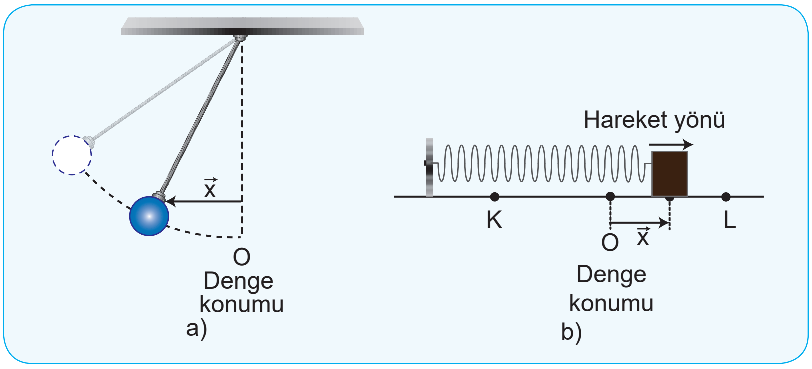
Cisim, yörüngesi üzerindeki Y noktasına geldiğinde gölgesi denge noktası olan O noktasına, Z noktasına geldiğinde ise gölgesi K noktasına ulaşır. Hareketin devamında cismin gölgesi önce O noktasına, sonra tekrar L noktasına döner. Hareket sürekli tekrarlanırsa cismin gölgesinin yaptığı bu hareket, basit harmonik hareket olur.



Şekil 2.3: *Basit harmonik hareketle düzgün çembersel hareket arasındaki ilişkinin incelenmesi için oluşturulan düzenek*

Basit harmonik hareketle ilgili kavramlar aşağıda verilmiştir.

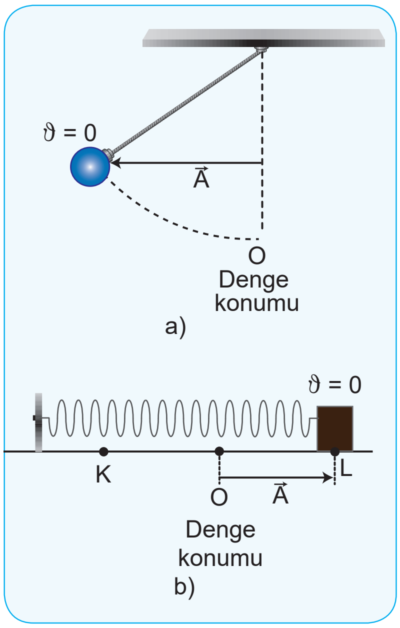
1. **Uzanım ($\vec{x}$):** Basit harmonik hareket yapan cismin herhangi bir anda denge noktasına olan uzaklığına **uzanım** denir (Şekil 2.4). Uzanımın SI'da birimi metredir. Vektörel bir büyüklüktür. Uzanımın yay sarkacı ve basit sarkaçta gösterimi Şekil 2.4: a, b'deki gibidir.



Şekil 2.4: *a, b) Basit sarkaç ve yay sarkacında uzanımın gösterimi*

2. **Genlik ($\vec{A}$):** Basit harmonik hareket yapan cismin uzanımının en büyük değerine **genlik** denir (Şekil 2.5). Genliğin SI'da birimi metredir. Vektörel bir büyüklüktür. Genliğin basit sarkaç ve yay sarkacında gösterimi Şekil 2.5: a, b'deki gibidir.

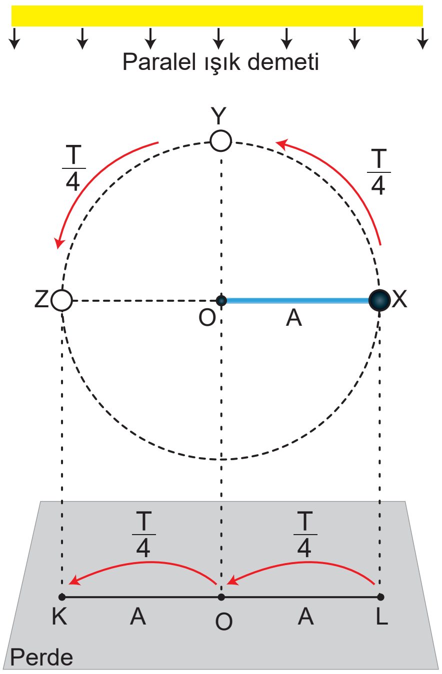
3. **Periyot (T):** Basit harmonik hareket yapan cismin hareketinin bir tam salınım yapması için gereken süreye **periyot** denir. SI'da birimi saniyedir.



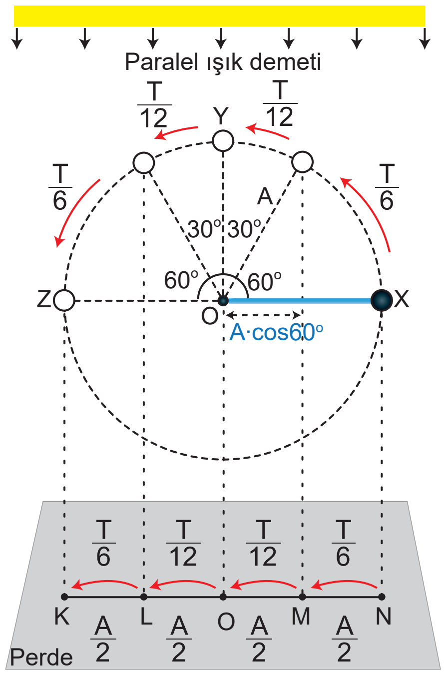
Şekil 2.5: *a, b) Basit sarkaç ve yay sarkacında genliğin gösterimi*

Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cisim X noktasından Y noktasına, Y noktasından Z noktasına $\frac{T}{4}$ sürede ulaşır (Şekil 2.6).

Bu durumda cismin gölgesi de L noktasından O noktasına, O noktasından da K noktasına $\frac{T}{4}$ sürede ulaşır. Hareketin devamında cismin gölgesinin K noktasından O noktasına ulaşma süresi ve O noktasından L noktasına ulaşma süresi yine $\frac{T}{4}$ olur.



Şekil 2.6: *Düzgün çembersel hareketin yatay eksendeki iz düşümü*



Şekil 2.7: *Düzgün çembersel hareketten yararlanarak periyottaki özel durumun belirlenmesi*

Basit harmonik hareket yapan cismin yörüngesi dört eşit parçaya ayrılarak incelendiğinde uzanımın, genliğin yarısı kadar olması için X noktasında bulunan cismin 60° dönmesi gerekir (Şekil 2.7).

Uzanım $x = A \cdot \cos 60^\circ = A \cdot \frac{1}{2} = \frac{A}{2}$ dir.

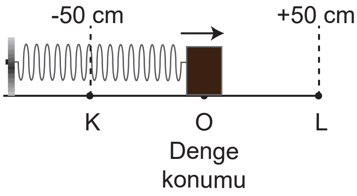
Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cisim bir periyotluk (T) sürede 360° döndüğüne göre 60° lik yayı $\frac{T}{6}$ sürede alır. Cismin 30° lik yayı dönmesi için geçen süre $\frac{T}{12}$ dir. Cismin yatay düzlemde K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan iz düşümü de N den M ye $\frac{T}{6}$, M den O ya ise $\frac{T}{12}$ sürede gelir. Hareket benzer şekilde devam eder.

4. Frekans (f): Birim zamanda yapılan titreşim sayısına **frekans** denir. SI'da birimi Hertz'dir. Periyot ve frekans arasındaki ilişki

$T \cdot f = 1$ dir.

Örnek

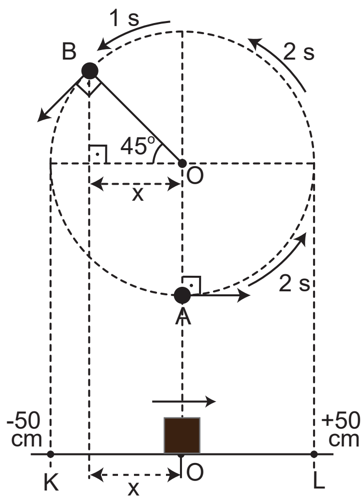
Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde esnek bir yayın ucuna bağlı cisim K-L noktaları arasında periyodu 8 saniye olan basit harmonik hareket yapıyor.



Buna göre cisim O noktasından şekilde verilen yönde geçtikten 5 s sonra cismin uzanımının büyüklüğü kaç cm'dir?

$(\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2})$

Çözüm

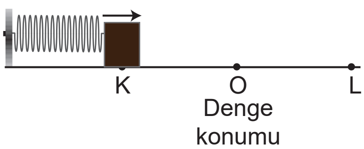


Düşey düzlemde çembersel hareket yapan cismin iz düşümü incelenirse cismin yarıçap vektörü 5 s'de 225° lik açı tarar. Bu durumda çembersel hareket yapan cisim şekildeki gibi A noktasından B noktasına gelmiş olur. B noktasının iz düşümünün denge konumuna uzaklığı $x = r \cdot \cos 45^\circ$ dir.

$x = 50 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 25\sqrt{2}$ cm bulunur.

Örnek

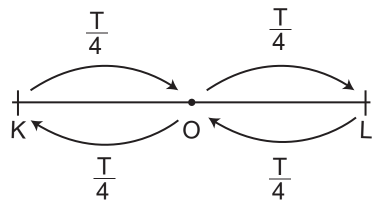
Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemdeki kütle yay sisteminde yay K noktasına kadar sıkıştırılıyor. Yayın ucuna bağlı cisim K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapıyor.



K noktasından harekete başlayan cisim 6 saniye sonra denge konumundan (O) ikinci kez geçtiğine göre hareketin frekansı kaç s^{-1} dir?

Çözüm

Cisim K-O, O-L ve L-O arasını $\frac{T}{4}$ sürede alır. K noktasından harekete başlayan cismin O noktasından ikinci kez geçebilmesi için $\frac{3T}{4}$ süre geçmesi gerekir.



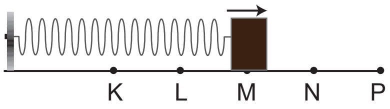
$\frac{3T}{4} = 6$

$T = 2 \cdot 4 = 8$ s bulunur.

Frekans ile periyot arasında $f = \frac{1}{T}$ bağıntısı olduğuna göre

$f = \frac{1}{8}$ s^{-1} bulunur.

Sıra Sizde - 1



Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde esnek yayın ucuna bağlı cisim t = 0 anında şekilde verilen yönde geçerek K-P noktaları arasında basit harmonik hareket yapıyor.

Noktalar arası uzaklık 20 cm ve cismin M'den P'ye gelme süresi 3 saniye olduğuna göre

a) **Hareketin denge konumu hangi noktadır?**

b) **Uzanımın maksimum olduğu noktanın denge konumuna olan uzaklığı kaç cm'dir?**

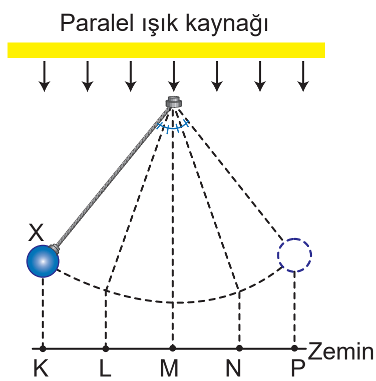
c) **Cisim N noktasından geçerken hareketin konum vektörünü çiziniz.**

ç) **Hareketin periyodunu ve frekansını bulunuz.**

d) **Cisim L noktasından geçerken geri çağırıcı kuvvetin yönünü belirleyiniz?**

Çözüm

Sıra Sizde - 2



Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda ipe bağlı X cismi bulunduğu konumdan serbest bırakılıyor.

Yatay düzlemde verilen noktalar arası uzaklık 10 cm ve cismin K noktasından L noktasına gelme süresi 4 saniye olduğuna göre

a) **Hareketin denge konumu hangi noktadır?**

b) **Hareketin genliği kaç cm'dir?**

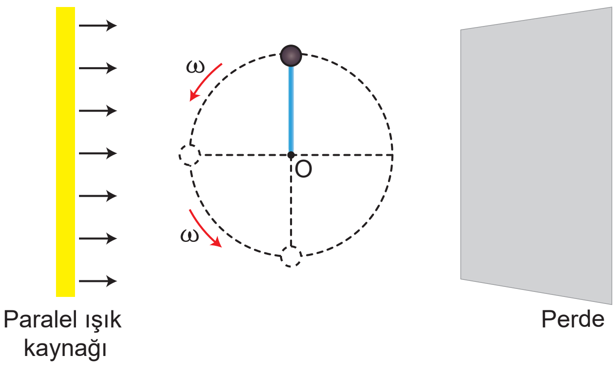
c) **Hareketin periyodu ve frekansı nedir?**

ç) **Cismin bırakıldıktan 16 saniye sonraki uzanımı kaç cm'dir?**

Çözüm

Sıra Sizde - 3

Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cismin hareketinin periyodu T'dir.



Buna göre

a) **Cisme şekildeki gibi paralel ışık demeti tutulduğunda cismin perde üzerinde oluşan iz düşümünün yaptığı hareketi aşağıdaki bölgeye çiziniz.**

b) **Şekildeki konumdan geçtikten $\frac{3T}{4}$ süre sonra cismin iz düşümünün bulunduğu noktayı çizdiğiniz görüntü üzerinde gösteriniz.**

Çözüm

2.1.2. Basit Harmonik Harekette Konumun Zamana Göre Değişimi

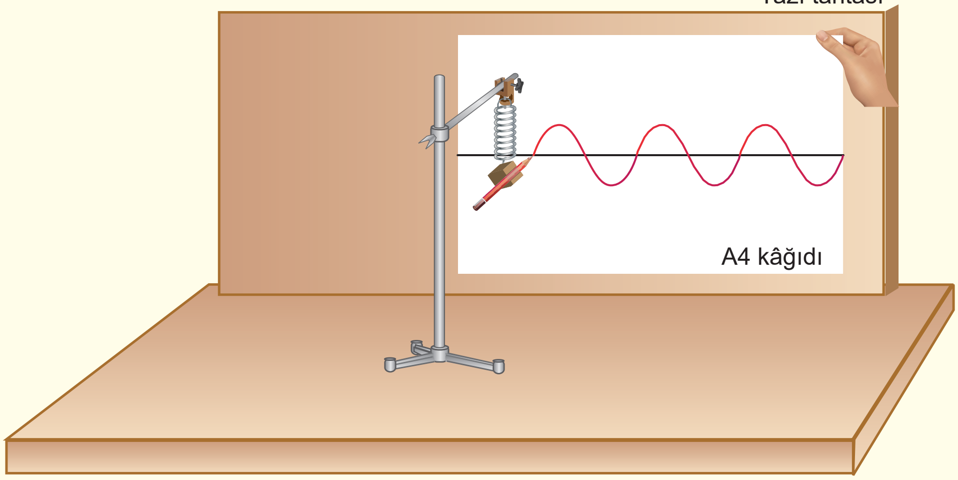
Hareket hâlindeki cisimlerin zamana bağlı konum grafikleri doğrusal ya da eğrisel olabilir. Doğrusal bir eksen üzerinde sabit hızla hareket eden cisimlerin konum-zaman grafiğinin doğrusal, ivmeli hareket yapan cisimlerin konum-zaman grafiğinin eğrisel olduğu öğrenilmişti. Basit harmonik hareket yapan cisimlerin ise konumunun zamana göre değişiminin nasıl olduğunu incelemek için "Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimi" deneyini yapınız.

DENEY

1. DENEY

Deneyin Adı	Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimi
Deneyin Amacı	Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimini yorumlamak ve konum-zaman grafiğinin çizilmesini sağlamak
Deneyde Kullanılan Araçlar	• Esnek yay • Tahta kalem • Üçayak • Uzun ve kısa destek çubuğu • Yarıklı kütle (60 g) sehpası • A4 kâğıdı • Cetvel (50 cm)

Deney Düzeneğinin Hazırlanışı



1. Adım: Destek çubuklarını şekildeki gibi üçayağa takınız.

2. Adım: Yatay konumdaki kısa destek çubuğuna yayı bağlayınız.

3. Adım: Yayın ucuna yarıklı kütle sehpası ile 60 g'lık kütleyi takınız. Kalemi de 60 g'lık kütle üzerine monte ediniz.

4. Adım: Cetvelle A4 kâğıdını şekildeki gibi ortadan ikiye ayıran bir çizgi çiziniz.

5. Adım: A4 kâğıdını tahtaya tutunuz. Tahta kalemin ucu tahtanın yüzeyine yerleştirilmiş beyaz kâğıda hafifçe değecek şekilde görseldeki düzeneği oluşturunuz.

Deneyin Yapılışı

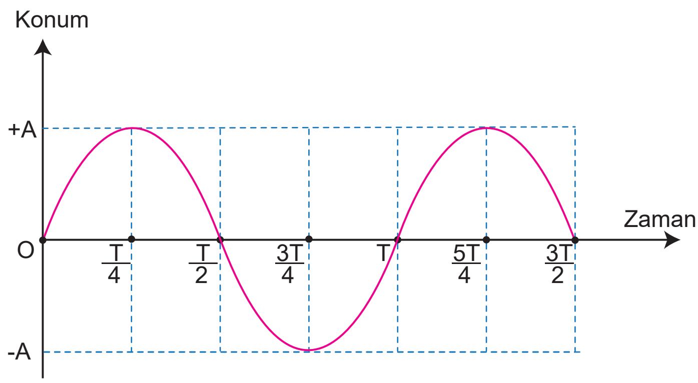
1. Adım: Kalemin ucu beyaz kâğıdın dışına çıkmayacak şekilde aşağıya çekip bıraktığınızda beyaz kâğıdı yana doğru sabit hızla çekmeye başlayınız.

2. Adım: Kalemin beyaz kâğıt üzerine çizdiği deseni gözlemleyiniz.

Sonuç ve Değerlendirme

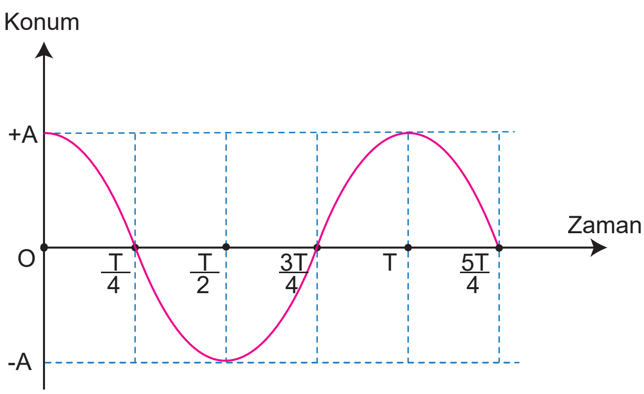
1. Kâğıdın üzerinde oluşan şekle göre basit harmonik hareket yapan cismin konumunun zamana göre nasıl değiştiğini inceleyiniz.
2. A4 kâğıdının üzerinde oluşan grafiği, doğrusal bir eksen üzerinde sabit büyüklükte bir hızla ya da ivmeli hareket yapan cisimlerin konumunun zamana göre değişim grafikleriyle karşılaştırınız.

"Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimi" deneyinde yarıklı kütleye takılan kalemin ucunun kâğıt üzerinde çizdiği şeklin bir sinüs eğrisi olduğu görülmektedir. Yarıklı kütlenin t = 0 anında denge noktasında olduğu kabul edilirse A genliği ile basit harmonik hareket yapan cismin konumunun zamana göre değişim grafiği Şekil 2.8'deki gibidir.



Şekil 2.8: *Denge noktasından harekete başlayarak basit harmonik hareket yapan cismin konum-zaman grafiği*

A genlikli basit harmonik hareket yapan cismin t = 0 anında genlik noktasında olduğu kabul edilirse yaptığı basit harmonik hareketin konum zaman grafiği Şekil 2.9'daki gibidir.



Şekil 2.9: *Genlik noktasından harekete başlayarak basit harmonik hareket yapan cismin konum-zaman grafiği*

Sıra Sizde - 4

A genlikli basit harmonik hareket yapan cismin periyodu 4 saniyedir. Cismin t = 0 anında -A konumunda olduğu kabul edilirse konum-zaman grafiğini çiziniz.

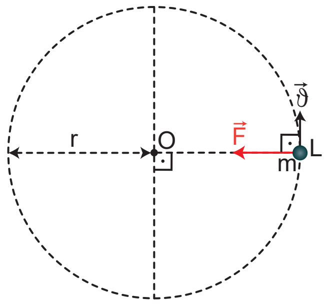
Çözüm

2.1.3. Basit Harmonik Harekette Kuvvet, Hız ve İvmenin Konuma Göre Değişimi

Geri Çağırıcı Kuvvetin Konuma Göre Değişimi

Bir cismin basit harmonik hareket yapmasını sağlayan kuvvete geri çağırıcı kuvvet denildiği daha önce ifade edilmişti.

m kütleli bir cisme r yarıçaplı yörüngede, sabit büyüklükteki ϑ hızıyla düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yaptırılırsa (Şekil 2.10: a) bu cismin, yatay düzlemdeki iz düşümü K′ ve L′ noktaları arasında basit harmonik hareket yapar (Şekil 2.10: b). Cismin yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan iz düşümünün geri çağırıcı kuvvetinin büyüklüğü, cisme etki eden merkezcil kuvvetin (F) yatay bileşeninin büyüklüğüne (F_x) eşittir.



Şekil 2.10: *a) Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan m kütleli cisim*

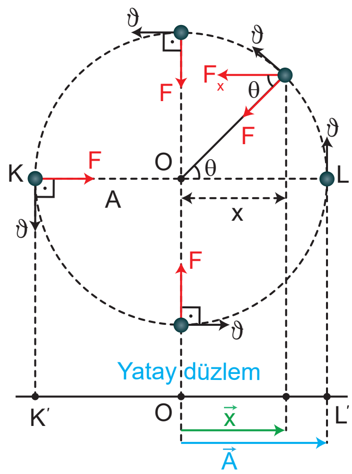
$F_x = F \cdot \cos\theta$ dır.

$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos\theta$ bulunur.

$\cos\theta = \dfrac{x}{r}$ bağıntısı elde edilen denklemde yerine yazılırsa

$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \dfrac{x}{r}$

$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot x$ bulunur.



Şekil 2.10: *b) Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan m kütleli cisme etki eden merkezcil kuvvetin yatay düzlemdeki iz düşümü*

Böylece basit harmonik hareket yapan bir cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin cismin konumuna bağlı ifadesi elde edilir.

Düzgün çembersel hareket yapan bir cisme etki eden merkezcil kuvvetin yönü, hareketin yörünge merkezine yönelmiştir. Basit harmonik hareket yapan cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin yönü de daima denge konumuna doğrudur. Bu sebeple basit harmonik hareket yapan bir cismin konum vektörüyle geri çağırıcı kuvvet vektörü daima birbirine zıt yönlüdür.

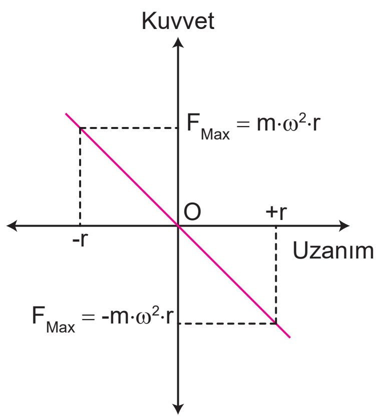
Buna göre geri çağırıcı kuvvet denklemi

$$\vec{F} = -m \cdot \omega^2 \cdot \vec{x}$$ bulunur.

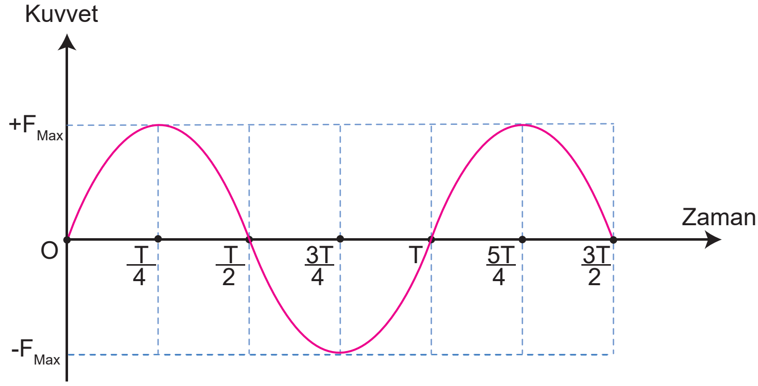
Uzanım x = 0 olduğunda cisim denge konumundan geçer. Bu durumda cisme etki eden geri çağırıcı kuvvet sıfırdır. Uzanım en büyük değere ulaştığında başka bir deyişle x = r kadar olduğunda (K′ ve L′ noktalarında) ise geri çağırıcı kuvvet en büyük değerini alır. Denklemde x = r yerine yazıldığında

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

formülünden yola çıkılarak basit harmonik harekette geri çağırıcı kuvvetin sahip olabileceği en büyük değer bulunur. Bu denkleme göre kuvvetin uzanıma bağlı grafiği Şekil 2.11'deki gibidir.



Şekil 2.11: *Basit harmonik hareket yapan cismin kuvvet-uzanım grafiği*

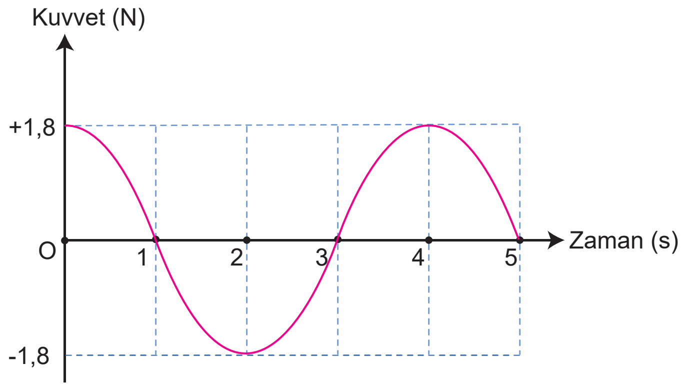


Şekil 2.12: *Kuvvetin zamana göre değişim grafiği*

$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ denklemine göre geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü uzanım ile doğru orantılıdır. Uzanımın zamana göre değişim grafiği sinüs eğrisi oluşturduğuna göre kuvvetin zamana göre değişim grafiği de sinüs eğrisi oluşturur. Buna göre kuvvetin zamana göre değişim grafiği Şekil 2.12'deki gibidir.

Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan 2 kg kütleli cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre cismin yapmış olduğu hareketin genliği kaç cm'dir?
($\pi = 3$ alınız.)

Çözüm

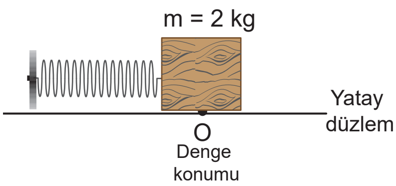
Grafikten yola çıkarak cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin maksimum değeri 1,8 N ve hareketin periyodu 4 s'dir.

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ ifadesinde periyot yerine yazılırsa

$\omega = \frac{2 \cdot 3}{4} = \frac{3}{2} \frac{rad}{s}$ bulunur.

Geri çağırıcı kuvveti veren $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ ifadesinde değerler yerine yazılırsa $1{,}8 = 2 \cdot (\frac{3}{2})^2 \cdot r \Rightarrow r = 0{,}4\ m = 40\ cm$ bulunur.

Örnek



Kütlesi önemsiz bir yayın ucuna bağlanmış 2 kg kütleli cisim, sürtünmesiz yatay düzlem üzerinde şekildeki gibi dengededir.

Cisim 40 cm çekilip bırakıldığında 0,4 saniye periyotla basit harmonik hareket yaptığına göre

a) **Yayın cisme uyguladığı kuvvetin en büyük değeri kaç N'dır?**

b) **Cisim denge konumundan 20 cm uzakta iken yayın cisme uyguladığı kuvvetin büyüklüğü kaç N'dır?** ($\pi = 3$ alınız.)

Çözüm

a) Cismin açısal hızının büyüklüğü $\omega = \frac{2\pi}{T}$ dir.

$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \cdot 3}{0,4} = 15 \frac{rad}{s}$ dir.

Basit harmonik hareket yapan cisimlere etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü

$F = m \cdot \omega^2 \cdot x$ ifadesiyle bulunur.

Kuvvetin en büyük değeri için x = 40 cm = 0,4 m olmalıdır.

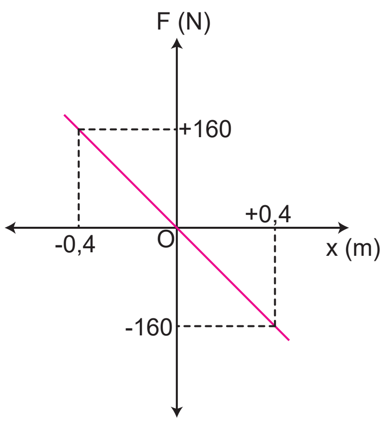
Açısal hız ve uzanım değerleri kuvvet denkleminde yerine yazılırsa

$F = 2 \cdot 15^2 \cdot 0,4 = 180$ N bulunur.

b) $F_x = m \cdot \omega^2 \cdot x$ ifadesinde x = 20 cm = 0,2 m yerine yazılırsa

$F = 2 \cdot 15^2 \cdot 0,2 = 90$ N bulunur.

Örnek



Sürtünmelerin önemsiz olduğu düşey düzlemde basit harmonik hareket yapan 4 kg kütleli cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin konuma bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.

Buna göre cismin yapmış olduğu basit harmonik hareketin frekansı kaç s^{-1}dir? ($\pi = 3$ alınız.)

Çözüm

Grafikten yararlanarak geri çağırıcı kuvvetin en büyük değeri 160 N ve genliği 0,4 m olarak bulunur.

Bulunan değerler $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ eşitliğinde yerine yazıldığında

$160 = 4 \cdot \omega^2 \cdot 0,4 \Rightarrow \omega = 10 \frac{rad}{s}$ olur.

$\omega = 2\pi \cdot f$ bağıntısından ω değeri yerine yazılırsa

$10 = 2 \cdot 3 \cdot f \Rightarrow f = \frac{5}{3} s^{-1}$ bulunur.

Sıra Sizde - 5

Kütlesi 1,5 kg olan bir cisme sürtünmesiz yatay düzlemde basit harmonik hareket yaptırılıyor.

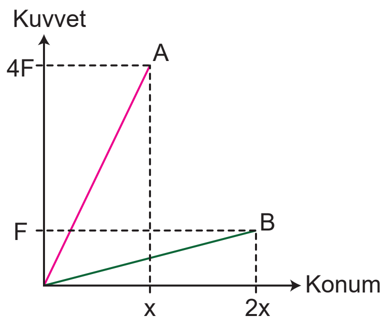
Cisim denge konumundan 50 cm uzaktayken cisme etki eden geri çağırıcı kuvvet 75 N olduğuna göre cismin açısal hızı kaç $\frac{rad}{s}$ dir?

Çözüm

Sıra Sizde - 6

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde basit harmonik hareket yapmakta olan A ve B cisimlerinin kütleleri sırasıyla m ve 2m'dir.

Cisimlere etki eden geri çağırıcı kuvvetlerin konuma bağlı değişim grafiği şekildeki gibi olduğuna göre cisimlerin hareket periyotları T_A ve T_B nin oranı $\frac{T_A}{T_B}$ kaçtır?



Çözüm

İvmenin Konuma Göre Değişimi

Newton'ın ikinci hareket yasasına göre bir cisme etki eden net kuvvet, cisme kuvvet ile aynı yönde ivme kazandırır. Bu ivme

$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{Net}}{m}$ kadardır.

Basit harmonik hareket yapan cisme herhangi bir anda etki eden net kuvvet, geri çağırıcı kuvvettir. Bu kuvvet cisme ivme kazandırır. İvme denkleminde F_{Net} yerine geri çağırıcı kuvvetin ifadesi yazılırsa

$\vec{a} = -\frac{m \cdot \omega^2 \cdot \vec{x}}{m}$ bulunur.

Geri çağırıcı kuvvetle aynı yönde olan bu ivme

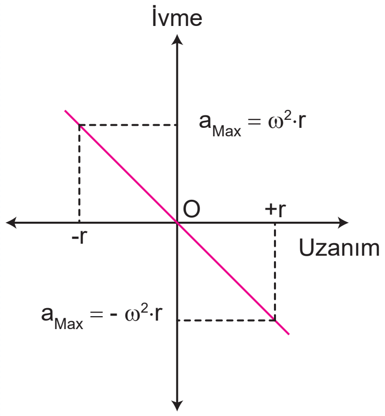
$\vec{a} = -\omega^2 \cdot \vec{x}$ bağıntısıyla bulunur.

Basit harmonik hareket yapan cismin ivmesi, geri çağırıcı kuvvet gibi konum vektörüne daima zıt yöndedir.

Uzanım x = 0 olduğunda cisim denge konumundan geçer. Bu durum cismin ivmesi geri çağırıcı kuvvet gibi sıfır olur. Uzanım en büyük değerine ulaştığında x = r olur. Bu ifade ivme denkleminde yerine yazılırsa ivmenin büyüklüğü

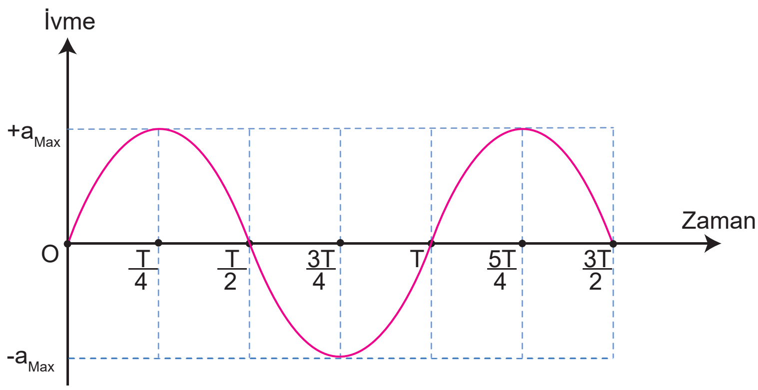
$a_{Max} = \omega^2 \cdot r$ ile bulunur.

Böylece basit harmonik hareket yapan cismin sahip olabileceği en büyük ivme değerini veren bağıntı bulunmuş olur. Bu denklemden yararlanarak basit harmonik hareket yapan cismin ivmesinin uzanıma bağlı grafiği Şekil 2.13'teki gibidir.



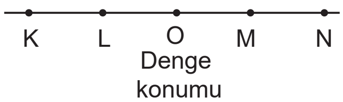
Şekil 2.13: *Basit harmonik hareket yapan cismin ivme-uzanım grafiği*

İvmenin uzanıma bağlı grafiğine göre basit harmonik hareket yapan cismin ivmesinin büyüklüğü, uzanımla doğru orantılıdır. Denge konumundan harekete başlayan bir cismin uzanımının zamana göre değişim grafiği sinüs eğrisi oluşturduğuna göre ivmenin zamana göre değişim grafiği de sinüs eğrisi oluşturur. Buna göre ivmenin zamana göre değişim grafiği Şekil 2.14'teki gibidir.



Şekil 2.14: *İvmenin zamana göre değişim grafiği*

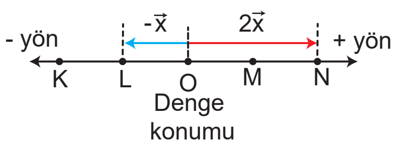
Örnek



Sürtünmesiz yatay düzlemde K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cisim L noktasından geçerken ivmesi $\vec{a}$ dır.

Buna göre cismin N noktasından geçerken sahip olduğu ivme kaç $\vec{a}$ dır? (Noktalar arasındaki uzaklıklar eşittir.)

Çözüm



Noktalar arası uzaklık x olsun. Hareketin genliği $\vec{A} = 2\vec{x}$ tir.

$\vec{a}_L = -\omega^2 \cdot (-\vec{x})$

$\vec{a}_L = \omega^2 \cdot \vec{x}$ olur.

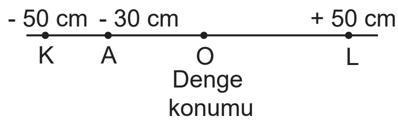
İvme bize $\vec{a}$ olarak verilmiştir. N noktası incelendiğinde

$\vec{a}_N = -\omega^2 \cdot 2\vec{x}$ olur.

$\vec{a}_N = -2\vec{a}$ bulunur.

Sıra Sizde - 7

Sürtünmesiz yatay düzlemde K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin A noktasından geçerken ivmesinin büyüklüğü a_1, L noktasından geçerken ivmesinin büyüklüğü a_2 dir.



Buna göre $\frac{a_1}{a_2}$ oranı kaçtır?

Çözüm

Hızın Konuma Göre Değişimi

Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan bir cismin yatay düzlemdeki iz düşümünün yaptığı hareket Şekil 2.15'teki gibidir. Cisim, M noktasından geçerken çizgisel hızının yatay eksendeki bileşenin büyüklüğü ϑ_x, cismin yatay düzlemdeki iz düşümünün M′ noktasından geçerken sahip olduğu hızın büyüklüğüne eşittir.

$\vartheta_x = \vartheta \cdot \cos\alpha$ dır.

Cismin çizgisel hızının büyüklüğü açısal hız cinsinden

$\vartheta = \omega \cdot r$ dir.

$\vartheta_x = \omega \cdot r \cdot \cos\alpha$ bulunur. $\cos\alpha = \frac{y}{r}$ bağıntısından

$\vartheta_x = \omega \cdot y$ bulunur.

$r^2 = x^2 + y^2$ dik üçgen bağıntısından yararlanılarak

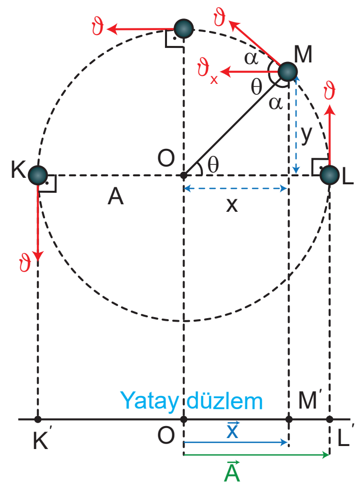
$y = \sqrt{r^2 - x^2}$ yerine yazılırsa

$\vartheta_x = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2}$ bulunur.

Bu ifade r genlikli basit harmonik hareket yapan bir cismin herhangi bir konumdan geçerken hızının büyüklüğünü belirleyen bağıntıdır.

Cismin uzanımı x = r olduğunda hızı sıfırdır. Cisim denge konumundan geçerken cismin hızı en büyük değerine ulaşır. Elde edilen hız bağıntısında x = 0 yerine yazılırsa cismin sahip olacağı hızın en büyük değeri

$\vartheta_{Max} = \omega \cdot r$ bulunur.

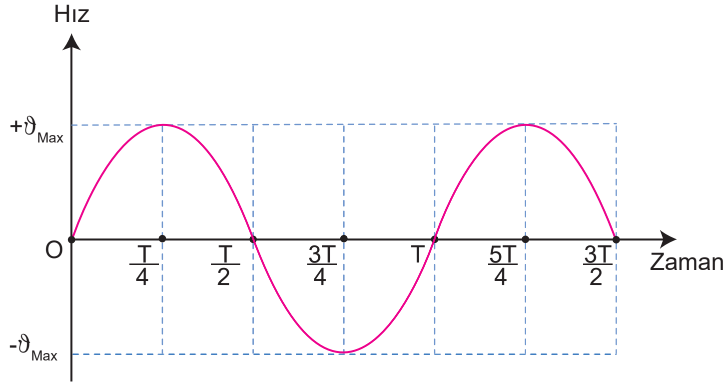


Şekil 2.15: *Sabit büyüklükte ϑ hızıyla düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cismin hızının yatay düzlemdeki iz düşümü*

Hız vektörünün yönü daima cismin hareket yönüyle aynıdır. Bu nedenle

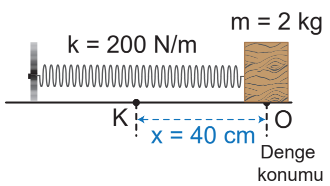
$\vec{\vartheta} = \omega \cdot \vec{r}$ olarak gösterilir.

Bulunan bağıntıya göre basit harmonik hareket yapan cismin hızının büyüklüğü, uzanım ile ters orantılıdır. Genlik noktasından harekete başlayan bir cismin uzanımının zamana göre değişim grafiği sinüs eğrisi oluşturduğuna göre hızın zamana göre değişim grafiği de sinüs eğrisi oluşturur. Buna göre hızın zamana göre değişim grafiği Şekil 2.16'daki gibidir.



Şekil 2.16: *Hızın zamana göre değişim grafiği*

Örnek



Sürtünmesiz yatay düzlemde bir ucuna 2 kg kütleli cisim bağlanmış şekildeki yay, O noktasından K noktasına kadar sıkıştırılıyor.

K noktasından serbest bırakılan cismin denge konumu olan O noktasından geçerken sahip olduğu hızının büyüklüğü kaç $\frac{m}{s}$ dir?

Çözüm

Cisme K noktasında etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğünü Hook Yasası'na göre

$F = k \cdot x$

$F = 200 \cdot 0{,}4 = 80$ N olur.

Geri çağırıcı kuvvet aynı zamanda

$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ dir.

Cismin açısal hızı $80 = 2 \cdot \omega^2 \cdot 0{,}4$

$\omega = 10 \frac{rad}{s}$ bulunur.

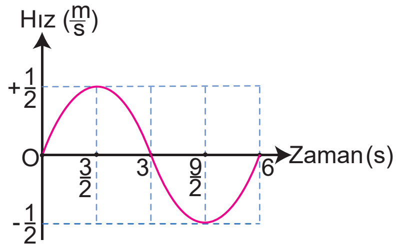
O noktasından geçerken cismin sahip olduğu hız

$\vartheta = \omega \cdot r$ den

$\vartheta = 10 \cdot 0{,}4 = 4 \frac{m}{s}$ bulunur.

Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan cismin hızının zamana bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre cisim denge konumundan 40 cm uzaktayken hızının büyüklüğü kaç $\frac{m}{s}$ dir? (π = 3 alınız.)

Çözüm

Grafikten yola çıkarak cismin sahip olduğu hızın en büyük değeri $\frac{1}{2}\ \frac{m}{s}$ ve hareketin periyodu 6 s olarak bulunur.

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ den periyot yerine yazılırsa

$\omega = \frac{2 \cdot 3}{6} = 1 \frac{rad}{s}$ olur

Cismin hızı denge konumundan geçerken en büyük değeri alır.

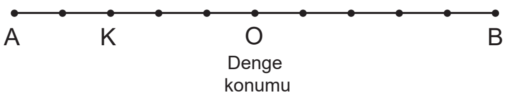
$\vartheta_{Max} = \omega \cdot r \Rightarrow \frac{1}{2} = 1 \cdot r \Rightarrow r = 0,5$ m bulunur.

Cismin konuma bağlı hız denklemi

$\vartheta = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2}$ ifadesinden

$\vartheta = 1 \cdot \sqrt{(0,5)^2 - (0,4)^2} = 0,3 \frac{m}{s}$ bulunur.

Sıra Sizde - 8



A-B noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin periyodu 6 saniyedir.

Cismin K noktasından geçerken hızının büyüklüğü kaç $\frac{m}{s}$ dir?
(Noktalar arası uzaklıklar eşit ve 1 m'dir. π = 3 alınız.)

Çözüm

2.1.4 Yay Sarkacı ve Basit Sarkaçta Periyodun Bağlı Olduğu Değişkenler

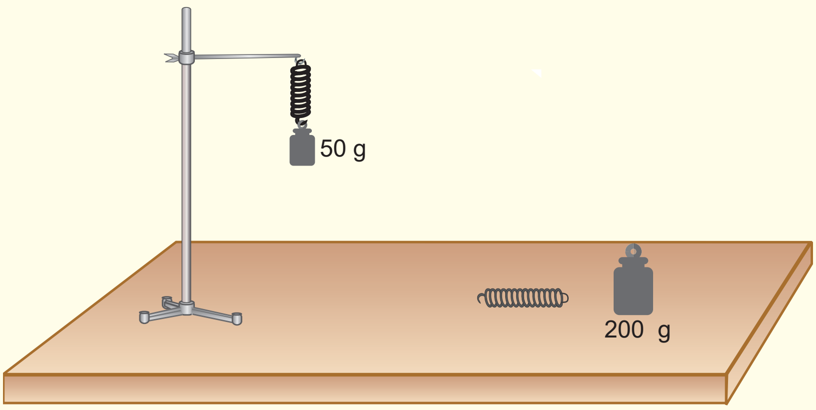
Yay sarkacının periyoduna etki eden değişkenlerin belirlenmesi ve matematiksel modelinin elde edilmesi için "Yay sarkacının periyodu" deneyini yapınız.

DENEY

2. DENEY

Deneyin Adı	Yay sarkacının periyodu
Deneyin Amacı	Yay sarkacının periyodunun bağlı olduğu değişkenlerin belirlenmesi
Deneyde Kullanılan Araçlar	• 50 g lık kütle • 200 g lık kütle • 2 adet farklı uzunlukta verilen ağırlıklara dayanıklı esnek yay • Üçayak • Demir çubuk • Bağlantı aparatı • Kronometre • Cetvel

Deney Düzeneğinin Hazırlanması



1. Adım: Şekildeki gibi üçayağı ve demir çubuğu bağlantı aparatı yardımıyla birleştiriniz.

2. Adım: Demir çubuğu sabitledikten sonra yayı bir ucundan demir çubuğa bağlayınız.

Deneyin Yapılışı

1. Adım: Farklı uzunluktaki yaylardan kısa olan esnek yayı, demir çubuğa bağladıktan sonra 50 g lık kütleyi yayın diğer ucuna bağlayınız. Yayı yavaşça serbest bırakarak dengeye gelmesini sağladıktan sonra denge konumunu belirleyiniz.

Denge konumundan 5 cm uzaklaştırdığınız kütleyi serbest bıraktığınız anda kronometreyi çalıştırıp kütlenin 10 tam titreşimi için geçen süreyi ölçünüz. Bulduğunuz sonucu Tablo 1'e yazınız.

Aynı işlemi 200 g'lık kütle için tekrarlayarak kronometrede okunan değeri Tablo 1'e yazınız.

2. Adım: 50 g ve 200 g'lık kütleleri sırasıyla denge konumundan 10 cm uzaklaştırarak deneyin 1. adımında yapılan işlemleri tekrarlayınız ve Tablo 1'i tamamlayınız.

DENEY

Tablo 1

Yayın Boyu	Uzanım Miktarı (cm)	Titreşim Sayısı	50 g için Geçen Süre	200 g için Geçen Süre
Kısa Yay	5	10		
	10	10		

3. Adım: Kısa esnek yayı, demir çubuktan çıkararak yerine uzun esnek yayı bağlayınız. Yayın ucuna 50 g'lık ve 200 g'lık kütleleri sırasıyla bağladıktan sonra deneyin 1. adımında yapılan işlemleri tekrarlayınız. Kronometrede okunan değerleri Tablo 2'ye yazınız.

4. Adım: Uzun yay için 50 g ve 200 g'lık kütleleri sırasıyla denge konumundan 10 cm uzaklaştırarak deneyin 1. adımında yapılan işlemleri tekrarlayınız ve Tablo 2'yi tamamlayınız.

Tablo 2

Yayın Boyu	Uzanım Miktarı (cm)	Titreşim Sayısı	50 g için Geçen Süre	200 g için Geçen Süre
Uzun Yay	5	10		
	10	10		

Sonuç ve Değerlendirme

1. Aynı kütleler bağlanarak eşit genlikli salınım yaptırılan farklı uzunluktaki yayların periyot değerlerini karşılaştırınız.
2. Aynı uzunluktaki yaylara farklı kütleler bağlanarak bulunan periyot değerlerini karşılaştırınız.
3. Farklı uzunluktaki yaylara aynı kütle bağlanarak aynı genlikle salınım hareketi yaptırıldığında bulunan periyot değerlerini karşılaştırınız.
4. Esnek yayın periyodu kütleye bağlı mıdır? Açıklayınız.
5. Esnek yayın periyodu yayın denge merkezine olan uzaklığına (uzanıma) bağlı mıdır? Açıklayınız.
6. Esnek yayın periyodu yayın uzunluğuna bağlı mıdır? Açıklayınız.

"Yay sarkacının periyodu" deneyinde yay sarkacının periyodunun yay sabitine ve cismin kütlesine bağlı olduğu, genliğine bağlı olmadığı görülür. Yayın ucuna bağlı cismin kütlesi m, yay sabiti k ise sarkacın periyodu

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ bağıntısı ile bulunur.



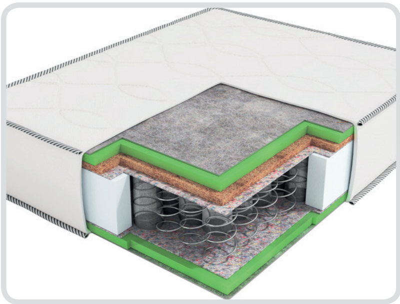
Görsel 2.5: *Motosiklet amortisörü*

Periyodun birimi SI'da saniyedir. Yay sarkacının periyodu, bulunduğu yerin yer çekimi ivmesine bağlı değildir.

m : Kütlenin SI'da birimi kilogramdır.

k : Yay sabitinin SI'da birimi $\frac{N}{m}$ dir.

Yaylar; araba akslarında, koltuk ve yatak döşemelerinde, parklarda ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Arabalarda ve motosikletlerde kullanılan yaylar oluşabilecek titreşimleri en aza indirgemek için kullanılır (Görsel 2.5).

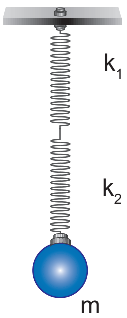


Görsel 2.6: *Yaylı yatak*

Yaylı yatak sistemlerinde tellerin yapıldığı maddenin cinsi, bağlanma şekli ve sertliği yatakların konforu ile kalitesini belirleyen önemli özelliklerdir (Görsel 2.6).

Yay sabiti, yayın yapıldığı maddenin cinsine, kalınlığına ve boyuna bağlıdır. Aynı yaydan kesilen farklı uzunluktaki yaylardan uzun olan yayın yay sabiti, kısa olan yayın yay sabitinden küçüktür.

Yaylar, seri ve paralel bağlanabilir. Seri ve paralel yaylara bağlı cisimlerin titreşim periyotlarını bulmak için yayların eşdeğer yay sabiti kullanılır.



Şekil 2.17: *Seri bağlı yaylar*

Birbirine seri bağlanmış iki yayın eşdeğer yay sabiti

$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$ dir (Şekil 2.17).

n tane yay, seri bağlanırsa eşdeğer yay sabiti

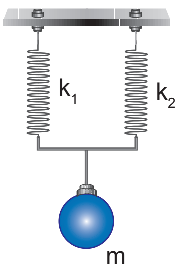
$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \cdots + \frac{1}{k_n}$ bağıntısıyla bulunur.

Birbirine paralel bağlı iki yayın eşdeğer yay sabiti ise

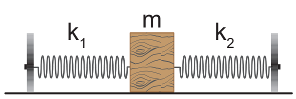
$k_{eş} = k_1 + k_2$ dir (Şekil 2.18).

n tane yay, paralel bağlanırsa eşdeğer yay sabiti

$k_{eş} = k_1 + k_2 + \cdots + k_n$ bağıntısıyla bulunur.



Şekil 2.18: *Paralel bağlı yaylar*



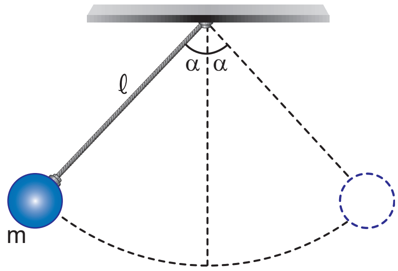
Şekil 2.19: *İki yay arasına bağlanmış cisim*

Bir cisim iki yay arasına Şekil 2.19'daki gibi bağlandığında oluşan sistemin eşdeğer yay sabiti $k_{eş} = k_1 + k_2$ olur.

ℓ uzunluğunda bir ipin ucuna bağlanmış m kütleli cisme basit harmonik hareket yaptırıldığında (Şekil 2.20) sarkacın periyodu ipin boyuna (ℓ) ve bulunduğu yerin yer çekimi ivmesine (g) bağlıdır. Sarkaç, ucundaki cismin kütlesine bağlı değildir. Basit sarkacın periyodu $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ bağıntısıyla bulunur.

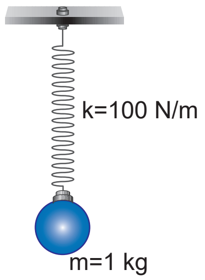
ℓ : İpin boyu SI'da birimi metredir.

g : Yer çekim ivmesi SI'da birimi $\frac{N}{kg}$ dır.



Şekil 2.20: *Basit sarkaç (α < 10°)*

Örnek



Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda şekildeki gibi yay sabiti 100 N/m olan yayın ucuna 1 kg lık cisim bağlanarak oluşturulan yay sarkacının periyodu kaç saniyedir? (π = 3 alınız.)

Çözüm

Bir yay sarkacının periyodu $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ bağıntısından hesaplanır.

Buradan $T = 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{100}}$ den $T = \frac{6}{10} = 0,6$ saniye bulunur.

Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda uzunluğu 0,1 m olan bir basit sarkaca basit harmonik hareket yaptırılıyor.

Buna göre sarkacın salınım periyodu kaç saniyedir?

(π = 3, g = 10 m/s^2 alınız.)

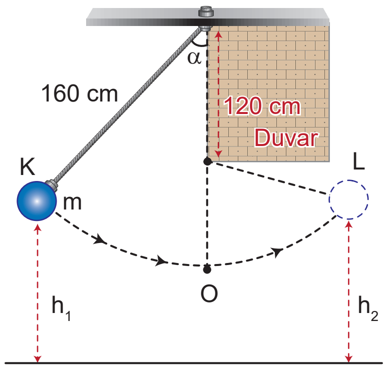
Çözüm

Basit sarkacın periyot bağıntısında verilenler yerine konulduğunda

$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} = 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{10}} = \frac{6}{10} = 0,6$ saniye bulunur.

Simülasyon

Basit sarkacın periyodunun bağlı olduğu değişkenleri karekoddan yararlanarak inceleyiniz.



Örnek

m kütleli cisim, sürtünmenin önemsiz olduğu bir ortamda 160 cm uzunluğundaki kütlesi önemsiz bir ipin ucuna bağlandıktan sonra K noktasından serbest bırakıldığında K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapmaktadır.

K noktasının yerden yüksekliği h_1, L noktasının yerden yüksekliği h_2 olduğuna göre

I. h_1 yüksekliği, h_2 yüksekliğine eşittir.
II. Cismin K noktasından L noktasına gelme süresi 0,9 s'dir.
III. 10° den küçük kalmak şartıyla α açısı artırılırsa cismin K noktasından O noktasına gelme süresi artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

($g = 10 \frac{m}{s^2}$, $\pi = 3$ alınız.)

Çözüm

Sürtünme olmadığından cismin mekanik enerjisi korunur.

$E_{İlk} = E_{Son} \Rightarrow m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot h_2$ (I. ifade doğrudur.)

Cisim serbest bırakıldıktan bir süre sonra duvara takılacağından ipin boyu O-L arasında kısalacaktır.

Cismin K-O arasını alma süresi T_1, uzunluğu 1,6 m olan sarkacın periyodunun $\frac{1}{4}$ ü kadardır.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ den

$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{1,6}{10}}$

$\frac{T_1}{4} = \frac{2,4}{4} = 0,6$ s olur.

Cismin O-L arasını alma süresi T_2, uzunluğu 0,4 m olan sarkacın periyodunun $\frac{1}{4}$ ü kadardır.

$T_2 = 2 \cdot 3 \cdot 0,2$

$T_2 = 1,2$ s

$\frac{T_2}{4} = \frac{1,2}{4} = 0,3$ s bulunur.

K noktasından L noktasına gelme süresi

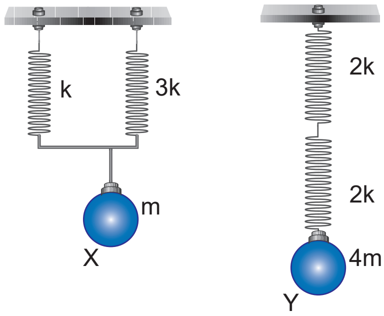
$T = 0,6$ s $+ 0,3$ s $= 0,9$ s (II. ifade doğrudur.)

$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ den

m kütleli cismin salınım periyodu α açısına bağlı değildir (III. ifade yanlıştır.).

Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda yay sabitleri Şekil I ve II'deki gibi verilen yaylara bağlı X ve Y cisimlerinin kütleleri sırasıyla m ve 4 m'dir.



Şekil I Şekil II

Cisimler denge konumundan bir miktar çekilip bırakıldıklarında yaptıkları titreşim hareketinin periyotları T_X ve T_Y olduğuna göre $\frac{T_X}{T_Y}$ oranı kaçtır?

Çözüm

Şekil I'deki yayların eşdeğer yay sabiti

$k_{eş} = k + 3k = 4k$ dır.

$$T_X = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T_X = 2\pi\sqrt{\frac{m}{4k}}$$

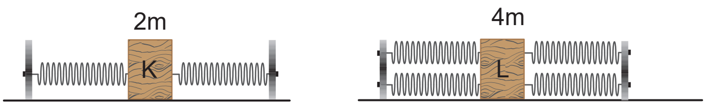
Şekil II'deki yayların eşdeğer yay sabiti

$$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{2k} + \frac{1}{2k} \Rightarrow k_{eş} = k \text{ olur.}$$

$$T_Y = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T_Y = 2\pi\sqrt{\frac{4m}{k}}$$

$$\frac{T_X}{T_Y} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{m}{4k}}}{2\pi\sqrt{\frac{4m}{k}}} = \frac{1}{4} \text{ bulunur.}$$

Sıra Sizde - 9



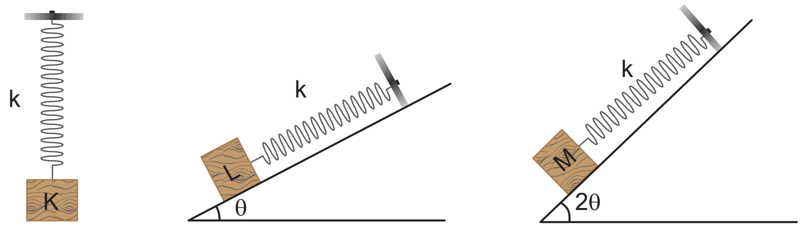
Şekil I Şekil II

Sürtünmenin önemsiz olduğu ortamlarda özdeş yaylara Şekil I ve II'deki gibi bağlanmış kütleleri sırasıyla 2m ve 4m olan K ve L cisimlerine titreşim hareketi yaptırılıyor.

K ve L cisimlerinin periyotları T_K ve T_L olduğuna göre $\frac{T_K}{T_L}$ oranı kaç olur?

Çözüm

Sıra Sizde - 10



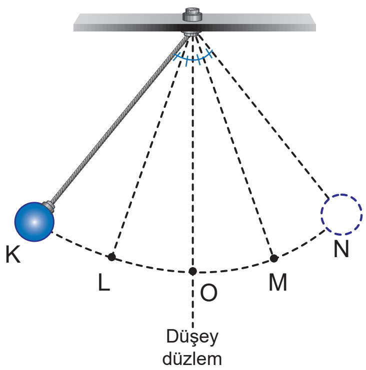
Şekil I Şekil II Şekil III

Sürtünmenin önemsiz olduğu ortamlarda özdeş yaylara şekildeki gibi bağlanmış özdeş K, L ve M cisimlerine T_K, T_L ve T_M periyotlu basit harmonik hareket yaptırılıyor.

Buna göre T_K, T_L ve T_M arasındaki büyüklük ilişkisi nasıldır?
($\theta < 45^\circ$)

Çözüm

Sıra Sizde - 11



Sürtünmesiz ortamda K-N noktaları arasında titreşim hareketi yapan basit sarkaç t = 0 anında K noktasından serbest bırakılıyor.

Sarkaç K-M yolunu 2 saniyede aldığına göre

I. Hareketin frekansı $\frac{1}{6}$ s^{-1} dir.

II. Cisim K dan L ye $\frac{1}{2}$ s'de gelir.

III. Cisim 4. saniyede O noktasındadır.

yargılarından hangileri doğrudur?

Çözüm

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.

periyot	kısaltılırsa	basit harmonik
hızı	geri çağırıcı	ivme
denge	kütle	iz düşüm
yer çekimi ivmesi	değişmez	en büyük

1. Basit bir sarkaçta ipin boyu arttıkça ………………… artar.
2. Basit harmonik hareket yapan bir cisim denge noktasından geçerken ………………… en büyük değeri alır.
3. Basit bir yay sarkacının boyu …………………, periyodu azalır.
4. Basit bir sarkacın periyodu cismin ………………… bağlı değildir.
5. Denge konumuna göre küçük açılarla salıncak üzerindeki çocuğun yaptığı harekete ………………… denir.
6. Titreşim hareketi yapan bir cismi, denge noktasına getirmeye çalışan kuvvete ………………… kuvvet denir.
7. Basit harmonik hareket yapan bir cisme etki eden net kuvvetin sıfır olduğu noktaya ………………… noktası denir.
8. Yay sarkacının periyodu ………………… bağlı değildir.
9. Basit harmonik hareket, düzgün çembersel hareket yapan bir cismin çap çizgisi üzerindeki ………………… hareketidir.
10. Yaylı sarkaç başka bir gezegene götürüldüğünde yay sarkacının periyodu …………………
11. Basit harmonik hareket yapan bir cismin ivmesinin ………………… değeri genlik noktasındadır.
12. Basit harmonik hareket yapan bir cismin ………………… yönü daima denge konumuna doğrudur.

B) Aşağıdaki soruların cevaplarını boş bırakılan alana yazınız.

13. **Basit harmonik hareket yapan bir cismin birim zamanda yaptığı titreşim sayısı hangi fiziksel büyüklükle ifade edilir?**

Cevap: ……………………………………

14. **Basit harmonik hareket yapan bir cismin herhangi bir anda denge noktasına göre uzaklığı hangi kavramla ifade edilir?**

Cevap: ……………………………………

15. Bir yayın ucuna bağladığı m kütleli cisimle oluşturduğu sisteme basit harmonik hareket yaptıran bir öğrenci, anlık hızın sıfır olduğu noktaları işaretliyor.

İşaretlediği noktalarla denge noktası arası uzaklığı ölçen öğrenci, harekete ait hangi fiziksel niceliği bulmuş olur?

Cevap: ……………………………………

16. Bir öğrenci basit harmonik hareket yapan bir cismin bir noktadan aynı yönde ikinci kez t sürede geçtiğini ölçüyor.

Öğrencinin ölçtüğü fiziksel nicelik nedir?

Cevap: ……………………………………

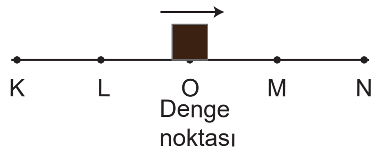
17. **Yayın ucuna bağlı bir cisme basit harmonik hareket yaptırıldığında periyodun hesaplanabilmesi için yay sabitiyle birlikte hangi fiziksel büyüklüğün bilinmesi gerekir?**

Cevap: ……………………………………

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

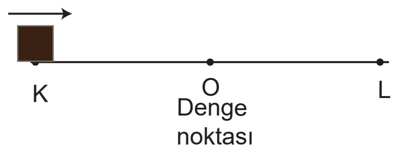
18. K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan şekildeki cisim, O noktasından M noktasına 2 s'de geliyor.



Noktalar arası uzaklıklar eşit olduğuna göre cismin periyodu kaç s'dir ?

A) 6 B) 10 C) 18 D) 20 E) 24

19. K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan şekildeki cismin frekansı $\frac{1}{8}$ s^{-1} dir.



Buna göre K noktasından harekete geçen cisim kaç s sonra O noktasından 2. kez geçer?

A) 2 B) 4 C) 6 D) 8 E) 10

20. Basit harmonik hareket yapan bir cisim için

I. Sabit ivmeli hareket yapar.

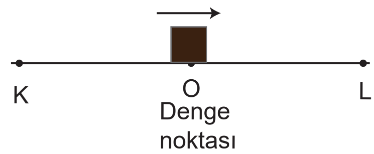
II. Geri çağırıcı kuvvetin yönü daima denge noktasına doğrudur.

III. Hareketi boyunca eşit zaman aralıklarında eşit yollar alır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

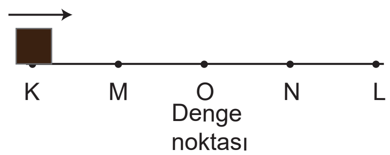
21. K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cisim O noktasından şekildeki yönde harekete geçtikten 9 s sonra hızı ikinci kez sıfır oluyor.



Buna göre cismin hareketinin frekansı kaç s^{-1} dir?

A) $\frac{1}{2}$ B) $\frac{1}{3}$ C) $\frac{2}{5}$ D) $\frac{1}{12}$ E) $\frac{1}{24}$

22. Cisim, sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapıyor.



Buna göre

I. Cisim, O noktasında iken geri çağırıcı kuvvet sıfırdır.

II. Cisim, O-N ile N-L aralıklarını eşit sürede alır.

III. Cisme K noktasındayken etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü, N noktasında etki eden geri çağırıcı kuvvetten büyüktür.

yargılarından hangileri doğrudur?
(Noktalar arası uzaklıklar eşittir.)

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I ve III

23. Saniyeleri vuran bir sarkacın periyodu kaç s'dir?

A) 0,5 B) 1 C) 1,5 D) 2 E) 3

24. Düşey düzlemde basit harmonik hareket yapan cismin bağlı olduğu yayın boyu kesilerek kısaltıldıktan sonra aynı genlikle basit harmonik hareket yaptırılıyor.

Buna göre

I. Periyot

II. Yay sabiti

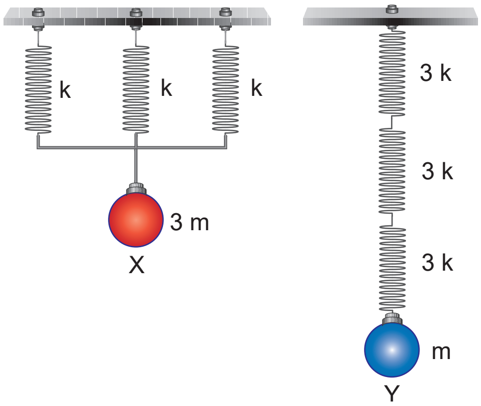
III. Frekans

niceliklerinden hangileri artar?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) II ve III

25. Yay sabitleri k cinsinden şekildeki gibi verilen X ve Y sarkaçlarının salınım periyotları sırasıyla T_X ve T_Y dir.



Buna göre yay sarkaçlarının periyotları $\frac{T_X}{T_Y}$ oranı kaçtır?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

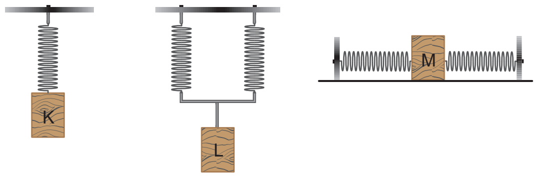
26. Sürtünmelerin önemsiz olduğu eşit bölmelendirilmiş yatay düzlemde K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin K noktasından M noktasına ilk kez gelme süresi 4 s'dir.



Noktalar arası uzaklıklar eşit ve 2 m olduğuna göre cismin O noktasından geçerken hızı kaç $\frac{m}{s}$ dir? (π = 3 alınız.)

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

27. Özdeş yaylarla oluşturulmuş eşit kütleli K, L ve M cisimlerine basit harmonik hareket yaptırılıyor. Cisimlerin periyotları sırasıyla T_K, T_L ve T_M dir.



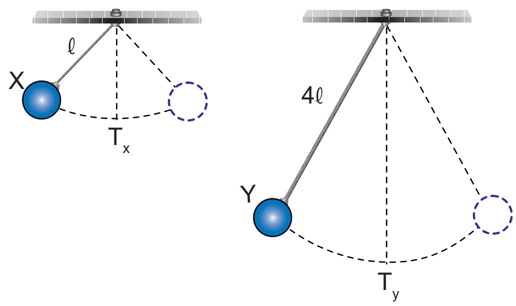
Buna göre T_K, T_L ve T_M arasındaki büyüklük ilişkisi hangi seçenekte doğru verilmiştir?

A) $T_K = T_L = T_M$ B) $T_K > T_L > T_M$

C) $T_K > T_L = T_M$ D) $T_M > T_L > T_K$

E) $T_L > T_M > T_K$

28. Sürtünmesiz bir ortamda basit harmonik hareket yapan X ve Y cisimlerinin bağlandığı iplerin uzunlukları sırasıyla ℓ ve 4ℓ dir.



X ve Y cisimlerinin periyotları T_X ve T_Y olduğuna göre $\frac{T_X}{T_Y}$ oranı kaçtır?

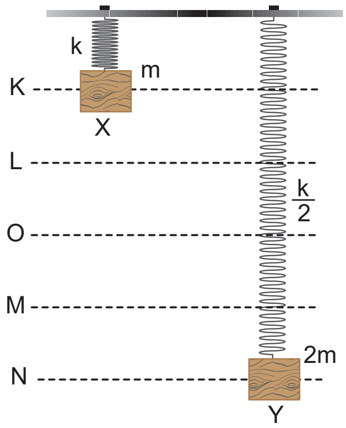
A) $\frac{1}{2}$ B) 1 C) $\frac{3}{2}$ D) 2 E) $\frac{5}{2}$

29. Basit harmonik hareket yapan bir ipli sarkacın periyodu T dir.

Sarkaç bulunduğu ortamın çekim ivmesinin 4 katı olan başka bir yere götürülürse sarkacın periyodu kaç T olur?

A) $\frac{1}{2}$ B) 1 C) $\frac{3}{2}$ D) 2 E) $\frac{5}{2}$

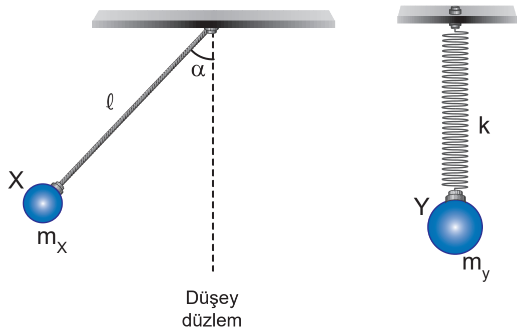
30. Yay sabitleri sırasıyla k ve $\frac{k}{2}$ olan X ve Y sarkaçlarından X sarkacı K doğrultusuna kadar sıkıştırılıp Y sarkacı da N doğrultusuna kadar çekilip serbest bırakılıyor.



Sarkaçların denge konumu O doğrultusu olduğuna göre cisimler hangi yatay doğrultudan geçerken ilk kez karşılaşır? (Noktalar arası uzaklıklar eşittir.)

A) K B) L C) O D) M E) N

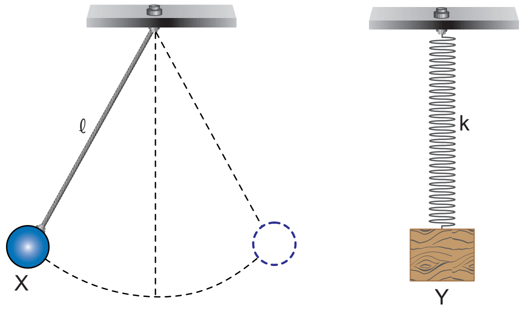
31. Şekildeki X sarkacının periyodu T_X, Y sarkacının periyodu T_Y dir.



Bu sarkaçlar Ekvator'dan kutuplara götürülürse T_X ve T_Y nasıl değişir?

	T_X	T_Y
A)	Azalır.	Değişmez.
B)	Azalır.	Azalır.
C)	Değişmez.	Değişmez.
D)	Artar.	Artar.
E)	Artar.	Değişmez.

32. X ve Y cisimlerine basit harmonik hareket yaptırıldığında periyotları eşit olmaktadır.



X cisminin bağlı olduğu ipin boyu artırıldığında cisimlerin hareket periyotlarının yeniden eşit olabilmesi için

I. Yay sabiti daha küçük yay kullanılmalıdır.

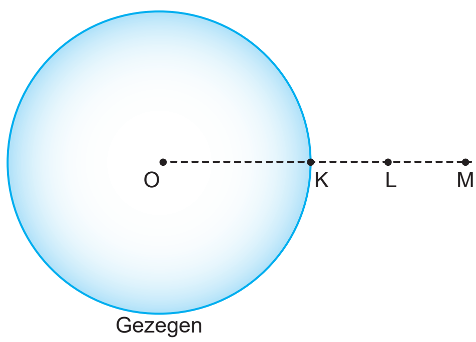
II. Y cisminin kütlesi artırılmalıdır.

III. X cisminin kütlesi azaltılmalıdır.

yargılarından hangileri tek başına yapılabilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

33. Bir basit sarkaca şekildeki gezegenin yüzeyindeki K noktasında ve gezegen yüzeyinden uzaktaki L ve M noktalarında basit harmonik hareket yaptırıldığında sarkacın periyodu sırasıyla T_K, T_L ve T_M olmaktadır.



Buna göre T_K, T_L ve T_M arasındaki ilişki nedir?

A) $T_K = T_L = T_M$

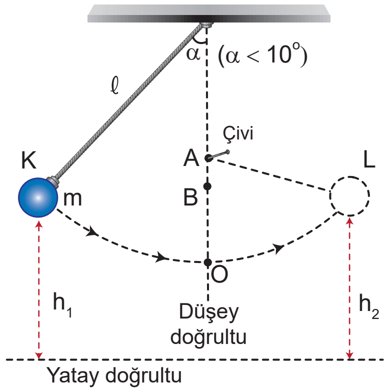
B) $T_M > T_L > T_K$

C) $T_L > T_K > T_M$

D) $T_M > T_K > T_L$

E) $T_L > T_K = T_M$

34. Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda yerden yüksekliği h_1 kadar olan m kütleli cisim, K noktasından serbest bırakılıyor. Cisim A noktasındaki çiviye takılarak yerden h_2 yüksekliğindeki L noktasına kadar çıkıyor.



Çivi A noktasından B noktasına kaydırılırsa

I. Sarkacın O-K yolunu alma süresi azalır.

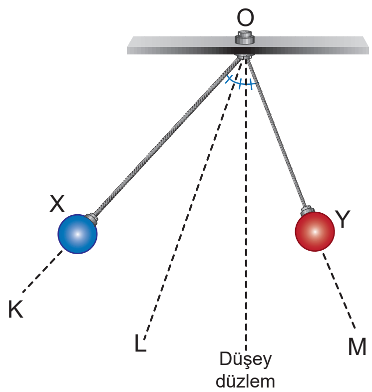
II. O-L yolunu alma süresi değişmez.

III. Cismin çıkabileceği h_2 yüksekliği değişmez.

yargılarından hangileri doğrudur?
(Çivi B noktasına getirildiğinde sarkaç basit harmonik hareket yapmaktadır.)

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) II ve III E) I, II ve III

35. Uzunlukları birbirinden farklı X ve Y basit sarkaçları aynı anda O-K ve O-M doğrultularından serbest bırakıldıklarında ilk kez O-L doğrultusunda karşılaşıyor.

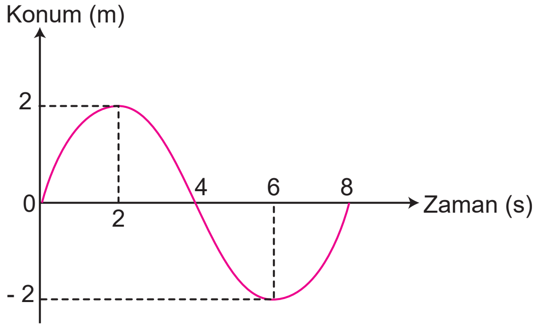


Cisimlerin hareket periyotları T_X ve T_Y olduğuna göre $\frac{T_X}{T_Y}$ oranı kaçtır?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

D) Aşağıdaki açık uçlu soruların cevabını boş bırakılan alana yazınız.

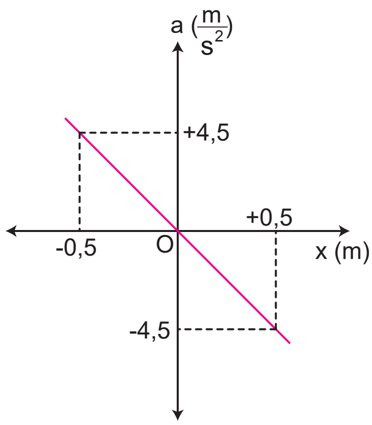
36. Bir cismin iki nokta arasında yapmış olduğu basit harmonik harekete ait konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre cismin ivmesinin en büyük değeri kaç $\frac{m}{s^2}$ dir? (π = 3 alınız.)

Çözüm

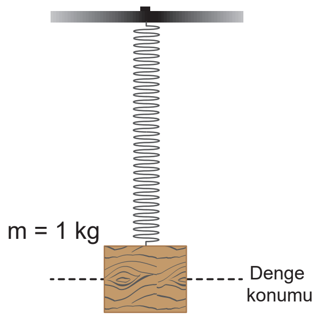
37. Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay bir düzlemde basit harmonik hareket yapan bir cismin ivmesinin konuma bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre cismin yapmış olduğu basit harmonik hareketin periyodu kaç s'dir?
(π = 3 alınız.)

Çözüm

38. Kütlesi önemsiz bir yayın ucuna bağlanmış 1 kg kütleli cisim şekildeki gibi dengededir.



Yayın esnekliği bozulmadan cisim 0,1 metre çekilip bırakıldığında cismin yaptığı basit harmonik hareketin periyodu 0,2 saniye olduğuna göre

a) **Cisim denge konumundan 0,1 metre aşağıdayken yayda oluşan geri çağırıcı kuvvet kaç N'dır?**

b) **Cismin basit harmonik hareketi sırasında sahip olduğu en büyük hız kaç $\frac{m}{s}$ dir?** (π = 3 alınız.)

Çözüm

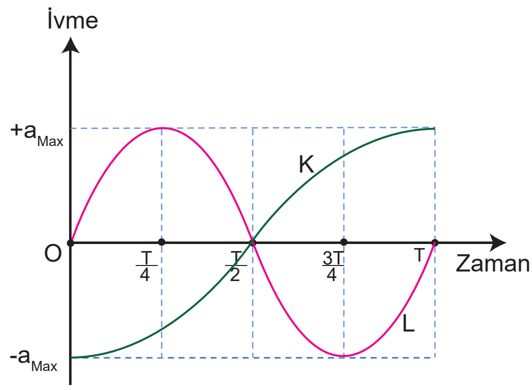
39.



K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan bir cismin K noktasındaki ivme, kuvvet ve uzanım vektörünün yönünü gösteriniz.

Çözüm

40. Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemlerde basit harmonik hareket yapan K ve L cisimlerine ait ivmenin zamana göre değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

I. Cisimlerin sahip olduğu ivmelerin en büyük değerleri eşittir.

II. K cisminin hareket genliği L cisminin hareket genliğinden büyüktür.

III. Cisimlerin kütleleri eşittir.

yargılarından hangileri kesinlikle doğrudur?

Çözüm

41. K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin M noktasındaki ivmesinin büyüklüğü 4 $\frac{m}{s^2}$, O noktasındaki hızı 2 $\frac{m}{s}$ dir.



Buna göre hareketin periyodu kaç saniyedir?
(π = 3 alınız. Noktalar arası uzaklıklar eşittir.)

Çözüm

3. ÜNİTE

DALGA MEKANİĞİ



Bu ünitede su dalgalarında kırınım olayının dalga boyu ve yarık genişliğiyle ilişkisi belirlenip girişim olayı açıklanacaktır.

Işığın çift yarıkta girişimine ve tek yarıkta kırınımına etki eden değişkenler belirlenecek ve bu olaylardan yola çıkılarak ışığın dalga doğası hakkında çıkarımlar yapılacaktır.

Doppler olayının günlük hayattaki örnekleri ışık ve ses dalgaları üzerinden açıklanarak elektromanyetik dalgaların ortak özellikleri ele alınacaktır.

1. BÖLÜM
DALGALARDA KIRINIM, GİRİŞİM VE DOPPLER OLAYI

Konular

3.1.1. Su Dalgalarında Kırınım Olayının Dalga Boyu ve Yarık Genişliği ile İlişkisi

3.1.2. Su Dalgalarında Girişim Olayı

3.1.3. Işığın Çift Yarıkta Girişimine Etki Eden Değişkenler

3.1.4. Işığın Tek Yarıkta Kırınımına Etki Eden Değişkenler

3.1.5. Işığın Dalga Doğası

3.1.6. Işık ve Ses Dalgalarında Doppler Olayının Etkileri

Anahtar Kavramlar

- Girişim
- Kırınım
- Doppler olayı

- **Aynı yay üzerinde oluşturulan iki atma karşılaştığında yayın görünümünde oluşan değişiklik, aynı ortamda oluşturulan iki su dalgasının karşılaşması sonucunda su yüzeyinde de meydana gelir mi?**
- **Doğrusal su dalgaları ilerlerken önlerine çıkan doğrusal engellere çarpıp geldikleri ortama geri döner. Peki, engeller arasındaki küçük bir aralıktan geçen dalgalar bu durumdan nasıl etkilenir?**

Bu bölümde dalgaların önüne çıkan tek ya da çift yarıktan geçişi incelenecektir. Hareket hâlindeki dalga kaynaklarının meydana getirdiği Doppler olayı ele alınacaktır.



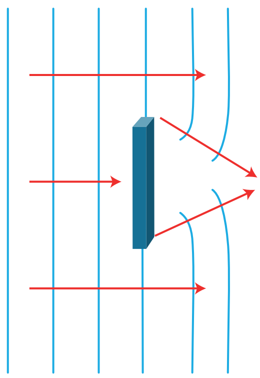
3.1.1. Su Dalgalarında Kırınım Olayı

Dalga olayının bir enerji aktarımı olduğu ifade edilmiş, su dalgalarının genel özellikleri yansıma ve kırılma olayları ele alınmıştı. Bu bölümde ise su dalgalarının birbirine yakın engeller arasından geçerken nasıl bir davranış gösterdiği ele alınacaktır.



Görsel 3.1: *Koyda dalgaların kırınımı*

Koya yaklaşan doğrusal su dalgaları (Görsel 3.1) bükülerek koyun iç kısmında bir desen oluşturur. Su dalgalarının, aralarındaki uzaklık dalga boyuna göre küçük olan iki engel arasından (Görsel 3.2) ya da keskin kenarlardan geçerken (Şekil 3.1), dairesel dalgalar şeklinde bükülerek yayılması olayına **kırınım**, kırınım olayında oluşan desene de **kırınım deseni** denir.



Şekil 3.1: *Keskin kenarda dalgaların kırınımı*



Görsel 3.2: *Dalgakıran*

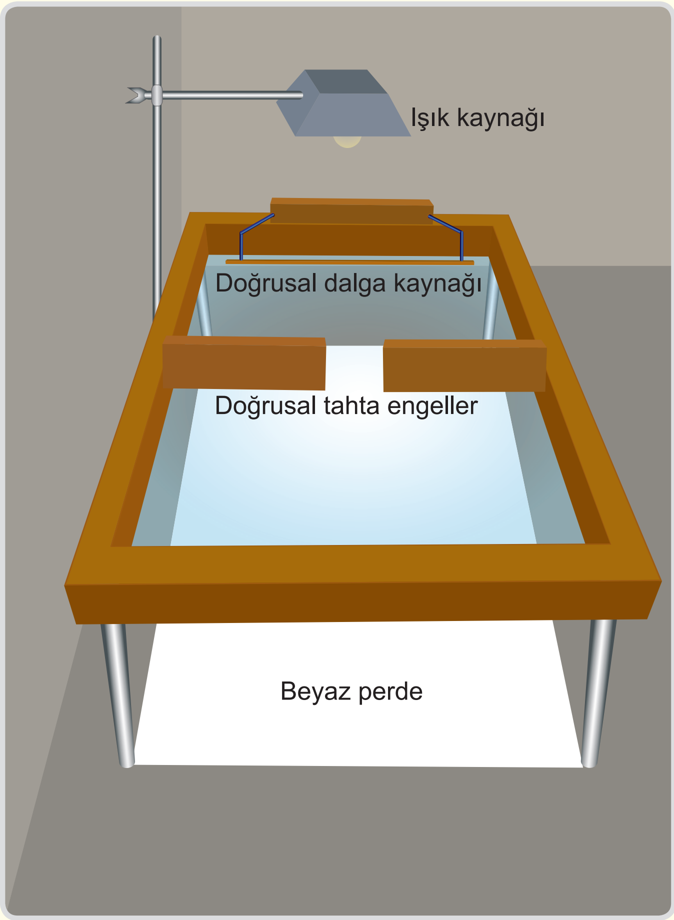
Su dalgalarında kırınım olayının bağlı olduğu değişkenleri “Su dalgalarında kırınım” deneyini yaparak belirleyiniz.

DENEY

1. DENEY

Deneyin Adı	Su dalgalarında kırınım
Deneyin Amacı	Su dalgalarında kırınım olayının bağlı olduğu değişkenlerin belirlenmesi
Deneyde Kullanılan Araçlar	• Dalga leğeni takımı • Doğrusal su dalgası kaynağı • Doğrusal tahta engeller • Beyaz perde

Deney Düzeneğinin Hazırlanışı



1. Adım: Dalga leğenini şekildeki gibi hazırlayınız.

2. Adım: Beyaz perdeyi dalga leğeninin alt tarafını tamamen kapatacak şekilde yerleştiriniz.

3. Adım: Dalga leğenini derinliği 2 cm olacak şekilde su ile doldurunuz.

4. Adım: Güç kaynağını, bağlantı kablolarıyla dalga kaynağına bağlayınız.

DENEY

Deneyin Yapılışı

1. Adım: Tahta engelleri, dalga kaynağına paralel ve aralarında açıklık olacak şekilde yerleştiriniz.

2. Adım: Güç kaynağını açınız ve dalga kaynağını çalıştırarak doğrusal su dalgaları elde ediniz.

3. Adım: Engeller arasındaki mesafeyi, engeller arasından geçen dalgaların doğrultusunu değiştirmeden geçecek şekilde ayarlayınız.

4. Adım: Dalga kaynağı çalışır durumdayken tahta engeller arasındaki açıklığı bir miktar azaltarak engeller arasından geçen dalgaların beyaz perde üzerinde oluşan görüntülerini ve oluşan deseni 1. bölgeye çiziniz.

5. Adım: Tahta engelleri birbirine iyice yaklaştırarak oluşan deseni gözlemleyiniz ve 2. bölgeye çiziniz.

6. Adım: Tahta engeller arasındaki mesafeyi dalgaların tekrar doğrusal olarak yayılabileceği duruma getiriniz.

7. Adım: Dalga kaynağının frekansını yavaş yavaş azaltarak doğrusal dalgaların engellerin arasından geçişi desenini gözlemleyerek 3. bölgeye çiziniz.

8. Adım: Dalga kaynağının frekansını başlangıçtaki konuma getiriniz. Leğene bir miktar su ilave ederek doğrusal su dalgalarının engeller arasından geçişini gözlemleyiniz ve oluşan deseni 4. bölgeye çiziniz.

1. bölge

2. bölge

3. bölge

4. bölge

Sonuç ve Değerlendirme

1. Deneyin 4 ve 5. adımında engeller arasındaki açıklığı değiştirmenin kırınım olayına etkisini açıklayınız.

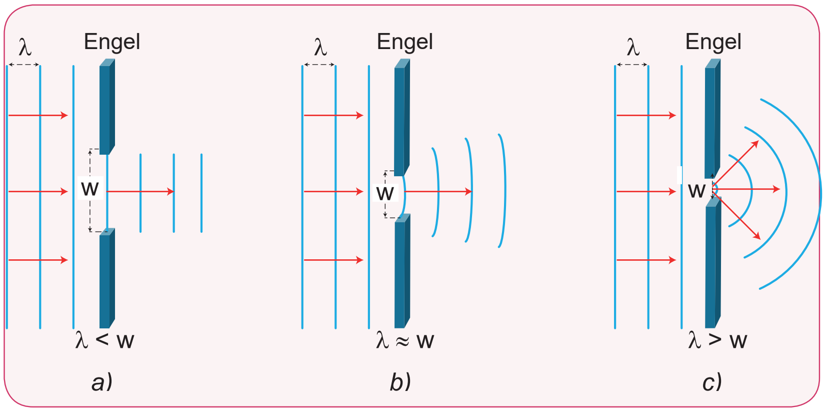
2. Deneyin 7. adımında kaynağın frekansındaki değişimin kırınım olayına etkisini açıklayınız.

3. Deneyin 8. adımında su derinliğinin artırılmasının kırınım olayına etkisini açıklayınız.

Durgun su yüzeyinde oluşturulan λ dalga boylu doğrusal dalgalar engel aralığı w olan engeller arasına gönderildiğinde engelin arkasında doğrusal olarak yollarına devam ediyorsa $w > \lambda$ dır (Şekil 3.2: a).

Engel aralığı küçültülerek su dalgalarının dalga boyuna yakın bir büyüklüğe getirildiğinde ($\lambda \approx w$) doğrusal dalgalar, engelin arkasına geçerken hafif büküldüğünden kırınım olayı kısmen gerçekleşmiş olur (Şekil 3.2: b).

Engeller arası uzaklık biraz daha küçültülerek su dalgalarının dalga boyundan daha küçük ($\lambda > w$) hâle getirildiğinde ise kırınım net olarak gerçekleşir ve dalgalar daha çok bükülerek yayılır (Şekil 3.2: c).



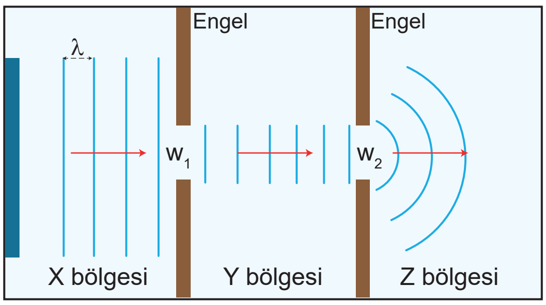
Şekil 3.2: *a, b, c) Doğrusal dalgaların engeller arasındaki açıklıktan geçişi*

Simülasyon

Su dalgalarında kırınım ve girişim olaylarını karekoddan yararlanarak inceleyiniz.

Örnek

X, Y ve Z bölgelerinden oluşan derinliği sabit bir dalga leğeninde X bölgesinde üretilen λ dalga boylu doğrusal su dalgalarının yarık aralıkları w_1 ve w_2 olan engellerden geçişi şekildeki gibidir.



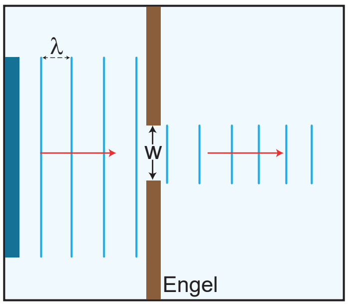
Buna göre λ, w_1 ve w_2 büyüklükleri arasındaki ilişki nedir?

Çözüm

X bölgesinde üretilen dalgalar engel aralığı w_1 olan engelden Y bölgesine doğrusal olarak geçtiğine göre $w_1 > \lambda$ olmalıdır. Dalgalar, Y bölgesinden Z bölgesine geçerken w_2 engel aralığından gelen dairesel dalgalar gibi bükülerek kırınım olayı gerçekleştirdiğine göre $\lambda > w_2$ dir. Bu nedenle cevap $w_1 > \lambda > w_2$ olur.

Sıra Sizde - 1

Derinliği sabit bir dalga leğeninde doğrusal dalga kaynağının ürettiği λ dalga boylu su dalgalarının yarık aralığı w olan engeller arasından geçişi şekildeki gibidir.



Buna göre

I. w büyütülmesi

II. Dalga kaynağının frekansının azaltılması

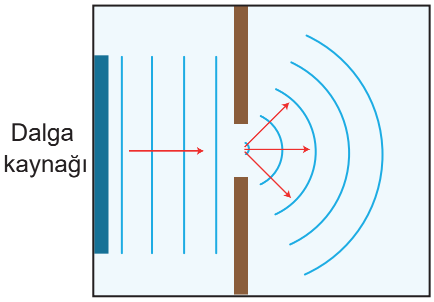
III. Leğene bir miktar su eklenmesi

işlemlerinden hangileri tek başına yapılırsa kırınım olayı gerçekleşebilir?

Çözüm

Sıra Sizde - 2

Derinliği sabit bir dalga leğeninde doğrusal dalga kaynağının ürettiği su dalgaları iki engelin arasından şekildeki gibi bükülerek geçmektedir.



Buna göre şekildeki kırınım deseninin oluşmasında

I. Dalgaların frekansı

II. Dalga leğenindeki su derinliği

III. Dalga kaynağı ile engeller arasındaki uzaklık

niceliklerinden hangilerinin etkisi yoktur?

Çözüm

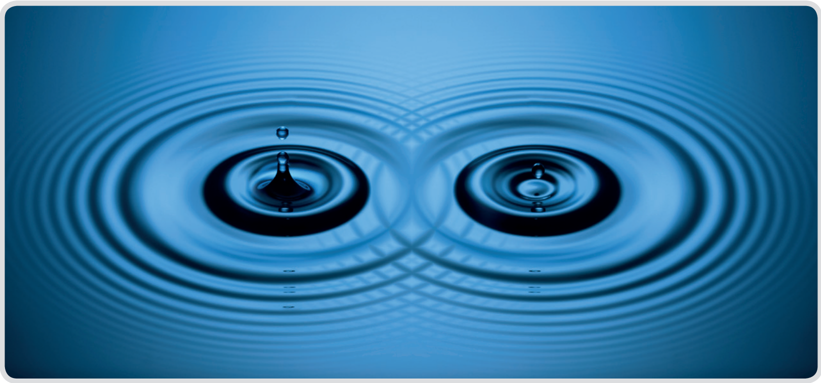
3.1.2. Su Dalgalarında Girişim Olayı

Durgun bir su birikintisi üzerine düşen yağmur damlalarının su yüzeyinde oluşturduğu dairesel su dalgalarının görüntüsü Görsel 3.3'teki gibidir.



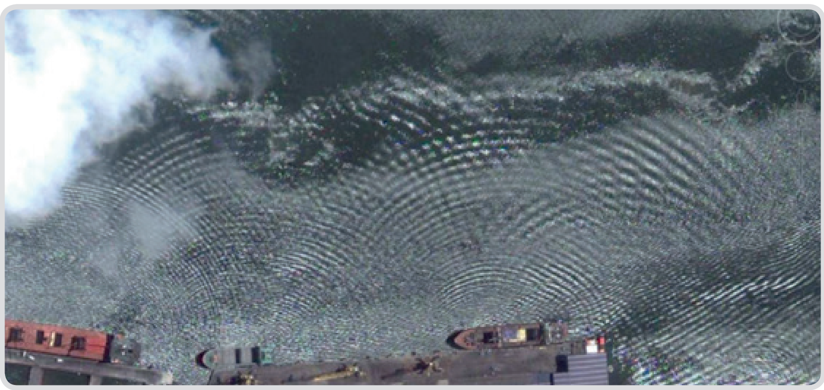
Görsel 3.3: *Durgun bir su birikintisi üzerine düşen yağmur damlaları*

Havuza ya da göle birbirine yakın noktalarda atılan iki küçük taşın su yüzeyinde oluşturduğu dairesel dalgalar, birbiri içinden geçerken Görsel 3.4'teki gibi bir görüntü oluşturur.



Görsel 3.4: *İki kaynaktan yayılan dairesel dalgaların girişimi*

İki ya da daha fazla sayıda dalganın birbiri içerisinden geçmesi olayına **girişim** denir. Girişim yapan dalgaların oluşturduğu desene de **girişim deseni** denir (Görsel 3.5).



Görsel 3.5: *Girişim deseni*

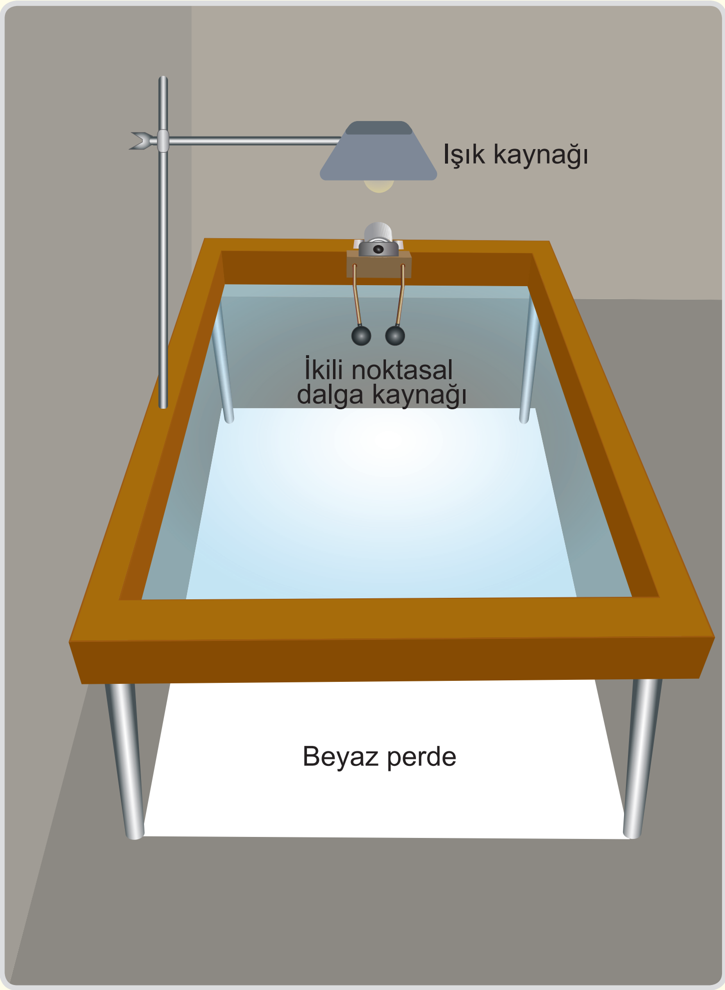
Su dalgalarında girişim olayını gözlemlemek için "Su dalgalarında girişim" deneyini yapınız.

DENEY

2. DENEY

Deneyin Adı	Su dalgalarında girişim
Deneyin Amacı	Su dalgalarında girişim olayının gözlemlenmesi
Deneyde Kullanılan Araçlar	• Dalga leğeni takımı • İkili noktasal dalga kaynağı • Beyaz perde

Deney Düzeneğinin Hazırlanışı



DENEY

1. Adım: Dalga leğenini şekildeki gibi hazırlayınız.

2. Adım: Beyaz perdeyi, dalga leğeninin zeminini tamamen kaplayacak şekilde yerleştiriniz.

3. Adım: Dalga leğenini derinliği 2 cm olacak şekilde su ile doldurunuz.

4. Adım: Öğretmeninizin yardımıyla özdeş ikili noktasal dalga kaynağını dalga leğenine yerleştiriniz.

5. Adım: Bağlantı kablolarıyla güç kaynağını noktasal dalga kaynağına bağlayınız.

Deneyin Yapılışı

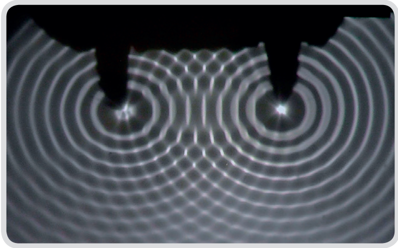
1. Adım: İkili noktasal dalga kaynağını çalıştırarak dairesel su dalgaları elde ediniz.

2. Adım: Dalga leğeninin altındaki beyaz perde üzerinde oluşan görüntüyü aşağıdaki bölgeye çiziniz.

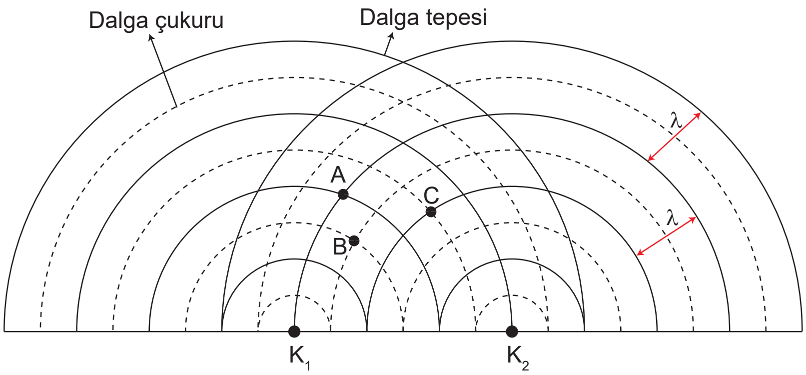
Sonuç ve Değerlendirme

1. Perdenin üzerinde oluşan aydınlık ve karanlık noktaları nasıl açıklarsınız?
2. Perdenin üzerinde oluşan görüntüde aydınlık ve karanlık noktaların kendi içlerinde bir hat oluşturduğunu gözlemleyebildiniz mi? Açıklayınız.

Bir dalga leğeninde aynı anda çalıştırılan özdeş iki noktasal dalga kaynağının ürettiği dalgaların oluşturduğu girişim deseni Görsel 3.6'daki gibidir. Dairesel su dalgalarının birbiri içinden geçerken dalga tepeleri ve dalga çukurları bazı noktalarda birbirini güçlendirir, bazı noktalarda da birbirini söndürür.

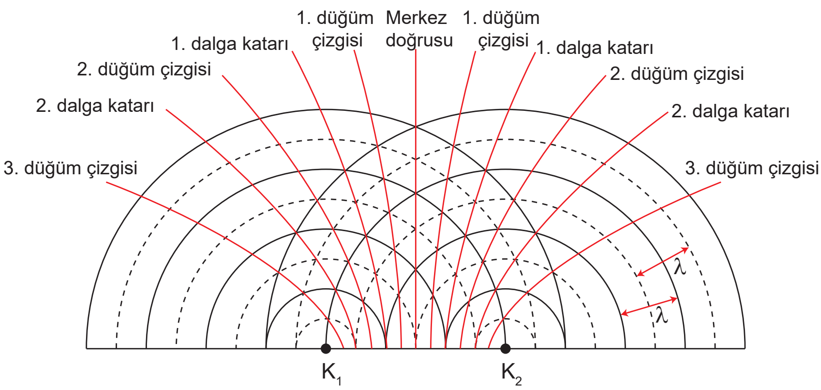


Görsel 3.6: *İki noktasal kaynağın oluşturduğu girişim deseni*

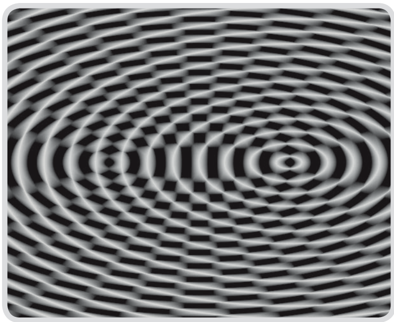


Şekil 3.3: *Girişim deseni üzerindeki bazı noktalar*

Aynı anda çalıştırılan iki noktasal dalga kaynağının oluşturulduğu girişim deseninde (Şekil 3.3) seçilen A noktasında olduğu gibi iki dalga tepesinin üst üste binmesiyle maksimum genlikle titreşen aydınlık noktalara **çift tepe**, B noktasındaki gibi iki dalga çukurunun üst üste binmesiyle oluşan ve maksimum genlikle titreşen karanlık noktalara **çift çukur** ve C noktasında olduğu gibi tepe ve çukurların üst üste gelmesiyle oluşan titreşimsiz noktalara da **düğüm noktası** denir.



Şekil 3.4: *Girişim deseni üzerinde dalga katarı ve düğüm çizgilerinin çizimi*



Görsel 3.7: *Girişim deseni üzerinde dalga katarı ve düğüm çizgilerinin görünümü*

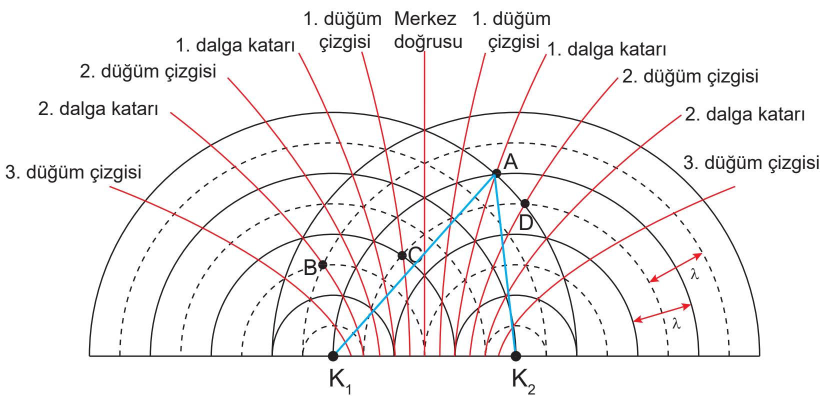
Dalga leğeninde oluşan girişim deseninde (Görsel 3.7) çift tepe ve çift çukur noktalarının bir hat oluşturduğu görülür. Çift tepe ve çift çukur noktalarının birleştirilmesiyle elde edilen çizgilere **dalga katarı** ya da **karın çizgisi** denir (Şekil 3.4). Kaynaklar arasındaki uzaklığı iki eşit parçaya bölen bu doğru üzerinde oluşan katara **merkezi dalga katarı** ya da **0. (sıfırıncı) dalga katarı** denir.

Benzer şekilde düğüm noktaları işaretlenip birleştirildiğinde elde edilen çizgilere de **düğüm çizgisi** denir (Şekil 3.4).

Oluşan girişim çizgilerinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

1. Merkez doğrusuna göre simetrik ve eşit sayıdadır.
2. Kaynaklar üzerinde ve kaynakların dışında gözlenmez.
3. Ardışık bir dalga katarıyla düğüm çizgisi arasındaki uzaklık, oluşturulan dalgaların dalga boyunun $\frac{1}{4}$ katıdır.
4. Ardışık iki dalga katarı ya da iki düğüm çizgisi arasındaki uzaklık, oluşturulan dalgaların dalga boyunun $\frac{1}{2}$ katıdır.
5. Çizgi sayısı kaynaklar arası uzaklık ile doğru, dalgaların dalga boyu ile ters orantılıdır.

Girişim deseni üzerinde seçilen bir noktaya, özdeş kaynaklardan gelen dalgaların aldığı yolların farkına **yol farkı** (ΔS) denir. Yol farkı seçilen noktanın hangi girişim çizgisi üzerinde olduğunun belirlenmesine yardımcı olur.



Şekil 3.5: *Girişim deseni üzerinde bazı noktalar ve A noktası için yol farkı*

Girişim deseni üzerinde seçilen bazı noktaların K_1 ve K_2 dalga kaynaklarına uzaklıkları λ cinsinden ifade edilirse I. dalga katarı üzerindeki A noktasının K_1 kaynağına uzaklığı 4λ, K_2 kaynağına uzaklığı 3λ dır (Şekil 3.5).
A noktasının yol farkı $\Delta S = AK_1 - AK_2$ den $\Delta S = 4\lambda - 3\lambda = \lambda$ dır.

2. dalga katarı üzerindeki B noktasının K_1 kaynağına uzaklığı $1{,}5\lambda$, K_2 kaynağına uzaklığı $3{,}5\lambda$ dır.
Yol farkı $\Delta S = BK_2 - BK_1$ den $\Delta S = 3{,}5\lambda - 1{,}5\lambda = 2\lambda$ olur.

Bu açıklamalardan yola çıkılarak "Desen üzerinde seçilen bir noktanın kaynaklara olan uzaklıkları arasındaki fark, dalga boyunun tam katları ise seçilen nokta, dalga katarı üzerinde bir noktadır. Bu tam sayı, kaçıncı dalga katarı üzerinde olduğunu gösterir." şeklinde çıkarımda bulunulabilir.

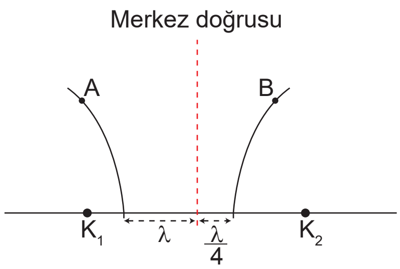
1. düğüm çizgisi üzerindeki C noktasının K_1 kaynağına uzaklığı 2λ, K_2 kaynağına uzaklığı $2{,}5\lambda$ dır. Yol farkı $\Delta S = CK_2 - CK_1$ den $\Delta S = 2{,}5\lambda - 2\lambda = \frac{1}{2}\lambda$ olur.

2. düğüm çizgisi üzerindeki D noktasının K_1 kaynağına uzaklığı 4λ, K_2 kaynağına uzaklığı $2,5\lambda$ dır. Yol farkı $\Delta S = DK_1 - DK_2$ den $\Delta S = 4\lambda - 2,5\lambda = \frac{3}{2}\lambda$ olur.

"Desen üzerinde seçilen bir noktanın kaynaklara olan uzaklıkları arasındaki fark, dalga boyunun buçuklu katları şeklinde ise seçilen nokta, düğüm çizgisi üzerinde bir noktadır." çıkarımında bulunulabilir.

Örnek

Aynı anda titreşen özdeş noktasal K_1 ve K_2 kaynaklarının ürettiği su dalgalarının oluşturduğu girişim desenindeki bazı girişim çizgileri şekildeki gibidir.



Kaynakların ürettiği dalgaların dalga boyu λ olduğuna göre girişim çizgileri üzerinde seçilen A ve B noktaları için

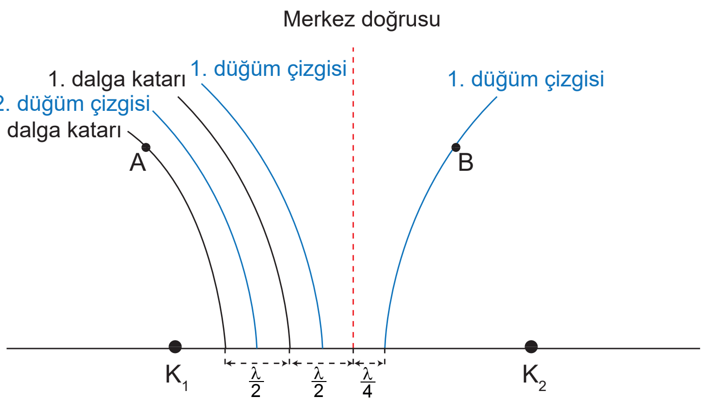
I. A noktası dalga katarı üzerindedir.

II. B noktası düğüm çizgisi üzerindedir.

III. A noktası bir çift tepe noktası olabilir.

ifadelerinde hangileri doğrudur?

Çözüm



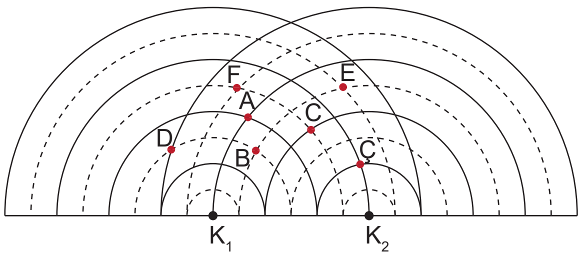
Merkez doğrusu 0. dalga katarı üzerinde oluşur. Kaynakları birleştiren doğru üzerinde ardışık iki dalga katarı arası uzaklık $\frac{\lambda}{2}$ nin katlarına eşit olduğu için A noktası dalga katarı üzerindedir (I. öncül doğrudur.).

Kaynakları birleştiren doğru üzerinde ardışık bir dalga katarı ile bir düğüm çizgisi arası uzaklık $\frac{\lambda}{4}$ ün katlarına eşit olduğu için B noktası da bir düğüm çizgisi üzerindedir (II. öncül doğrudur.).

Seçilen A noktası bir dalga katarı üzerinde olduğuna göre çift tepe ya da çift çukur olabilir (III. öncül doğrudur). Buna göre cevap I, II ve III'tür.

Sıra Sizde - 3

Derinliği sabit bir dalga leğeninde aynı anda çalışan özdeş iki noktasal dalga kaynağının ürettiği dairesel dalgaların oluşturduğu girişim deseni şekildeki gibidir.



Buna göre desende verilen A, B, C, D, E ve F noktalarından hangileri düğüm çizgisi üzerindedir?

Çözüm

Sıra Sizde - 4

Derinliği sabit bir dalga leğeninde aynı anda çalıştırılan özdeş iki noktasal dalga kaynağının ürettiği dalgalar girişim deseni oluşturuyor.

Buna göre girişim deseninde oluşan dalga katarı sayısını artırmak için

I. Kaynaklar arasındaki uzaklığı artırmak

II. Leğene bir miktar su eklemek

III. Kaynağın frekansını artırmak

işlemlerinden hangileri yapılabilir?

Çözüm

3.1.3. Işığın Çift Yarıkta Girişimine Etki Eden Değişkenler

Aynı anda titreşen noktasal dalga kaynaklarının su yüzeyinde oluşturduğu dairesel su dalgalarının birbiri içinden geçerken girişim oluşturduğu daha önce gözlemlenmişti. Su dalgalarında gözlenen girişim olayı ışık dalgalarında da gözlemlenebilir mi?

Işığın çift yarıkta girişimine etki eden değişkenleri belirlemek için "Çift yarıkta girişim" etkinliğini yapınız.

ETKİNLİK

1. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı	Çift yarıkta girişim
Etkinliğin Amacı	Işığın çift yarıkta girişimi sonucunda oluşan girişim deseninin çizilmesini sağlamak
Kullanılan Malzemeler	Bilgisayar, tablet veya etkileşimli tahta

Etkinliğin Hazırlanışı

1. Adım: Karekodu okutarak ışığın çift yarıkta girişimi simülasyonunu açınız.

2. Adım: Kırmızı renkli ışığı seçerek perde üzerindeki girişim desenini aşağıdaki bölgeye çiziniz.

3. Adım: Yeşil renkli ışığı seçerek perde üzerindeki girişim desenini aşağıdaki bölgeye çiziniz.

4. Adım: Çift yarıklar arasındaki uzaklığı artırarak perde üzerindeki deseni aşağıdaki bölgeye çiziniz.

5. Adım: Ekran ile yarık düzlemi arasındaki uzaklığı artırınız. Perde üzerindeki deseni aşağıdaki bölgeye çiziniz.

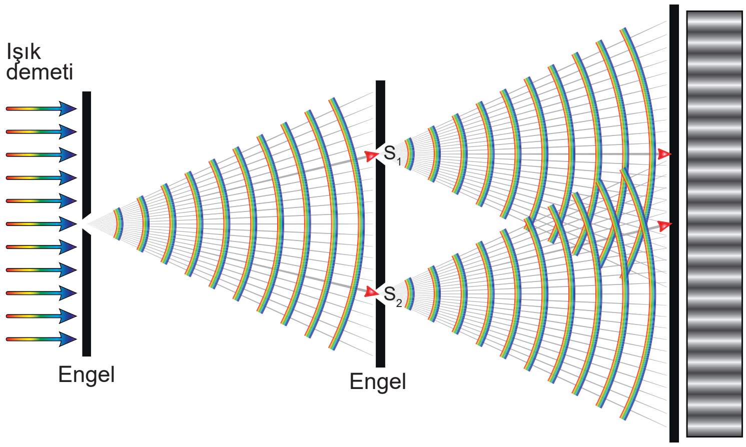
Etkinliğin Sonuçlandırılması

1. Etkinliğin 2. adımında çizdiğiniz girişim deseniyle 3. adımında çizdiğiniz girişim deseni arasındaki farklar nelerdir?
2. Etkinliğin 3 ve 4. adımında gözlemlediğiniz girişim desenleri arasındaki farklar nelerdir? Açıklayınız.
3. Etkinliğin 3 ve 5. adımında gözlemlediğiniz girişim desenleri arasındaki farklar nelerdir? Açıklayınız.
4. Elde ettiğiniz sonuçları arkadaşlarınızla tartışınız.



Görsel 3.8: *Thomas Young (Temsili resmi)*

Işık dalgalarında girişim olayı ilk kez 1801 yılında Thomas Young (Tamıs Yang) tarafından ortaya konulmuştur (Görsel 3.8). Young, yaptığı deneyde ışık ışınlarının uygun koşullarda birbiriyle girişim yaptığını göstererek ışığın dalga doğasını açıklamıştır.



Şekil 3.6: *Young deneyi*

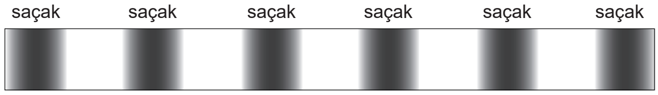
Karanlık bir odada hava ortamında yapılan Young deneyinde ışık ışınları tek yarıklı bir engelden geçerek S_1 ve S_2 yarıklı engele ulaşır (Şekil 3.6). Aynı anda çalıştırılan iki ışık kaynağı gibi davranan bu iki yarıktan geçen ışık ışınları, ekranda aydınlık ve karanlık saçaklar oluşturur (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: *Işığın çift yarıkta girişim deseni*

Oluşan tüm saçakların genişliği aynıdır. Yarıkların orta dikmesi üzerinde ve genişliği diğer saçakların genişliği ile aynı olan merkezî aydınlık saçak (A_0) oluşur. Merkezî aydınlık saçağın iki tarafında simetrik olarak karanlık ve aydınlık bölgeler sıralanır. Aydınlık bölgelere **aydınlık saçak**, karanlık bölgelere **karanlık saçak** denir.

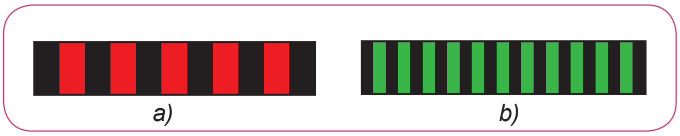
Ardışık iki aydınlık ya da karanlık saçak arasındaki mesafeye **saçak genişliği** denir. Saçak genişliği Δx sembolüyle gösterilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: *Işığın çift yarıkta girişim deseninde saçak genişliği*

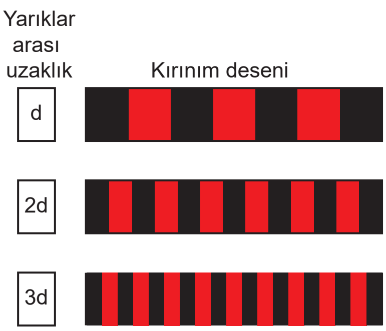
Saçak genişliği kullanılan ışığın rengine yani dalga boyuna (λ) bağlıdır. Işığın dalga boyu büyüdükçe saçak genişliği büyür.

Kırmızı ve yeşil ışığın aynı çift yarık düzlemine gönderilmesiyle elde edilen saçak görünümleri Şekil 3.9: a ve b'deki gibidir. Kırmızı ışığın dalga boyu, yeşil ışığın dalga boyundan büyük olduğundan saçak genişlikleri de daha büyüktür.

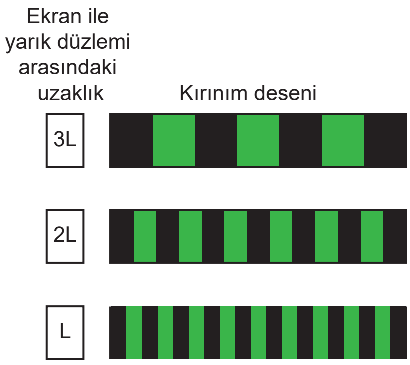


Şekil 3.9: *a) Kırmızı ışığın çift yarıkta girişim deseni*
b) Yeşil ışığın çift yarıkta girişim deseni

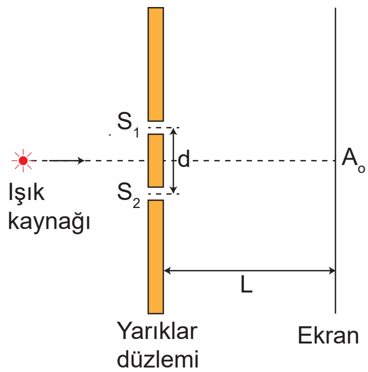
Saçak genişliği yarıklar arasındaki uzaklığa bağlı olarak da değişir. Yarıklar arası uzaklık artırıldıkça saçak genişliği azalır (Şekil 3.10). Saçak genişliğini değiştiren etkenlerden biri de yarık düzlemiyle ekran arasındaki uzaklıktır. Uzaklık arttıkça saçak genişliği büyür (Şekil 3.11).



Şekil 3.10: *Yarıklar arası uzaklığı farklı olan çift yarıkta girişim deneyinde kırmızı ışığın girişim deseni*



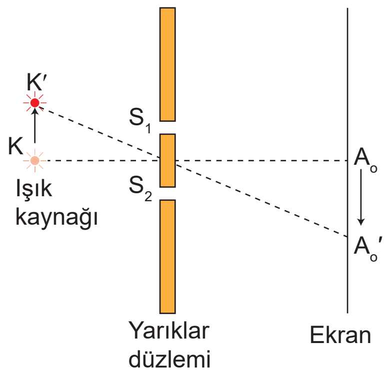
Şekil 3.11: *Yarık düzlemi ile ekran arası uzaklığı farklı olan çift yarıkta girişim deneyinde yeşil ışığın girişim deseni*



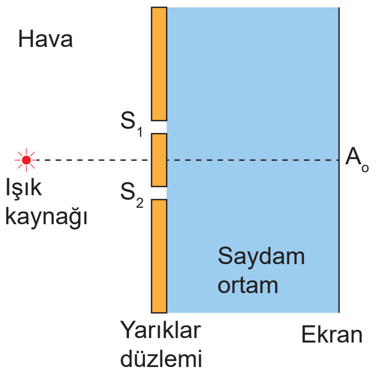
Şekil 3.12: *Işık kaynağının yarık düzlemine yaklaştırılması*

Işığın Çift Yarıkta Girişimine Etki Eden Diğer Değişkenler

1. Işık kaynağının ışık şiddeti artırılırsa girişim deseninin yerinde ve saçak genişliğinde değişiklik olmaz. Işık akısı artacağından aydınlık saçakların parlaklığı artar.
2. Işık kaynağı yarık düzlemine yaklaştırılırsa girişim deseninin yerinde ve saçak genişliğinde bir değişiklik olmaz. Işık akısı artacağından aydınlık saçakların parlaklığı artar (Şekil 3.12).
3. Işık kaynağı yarık düzlemine paralel hareket ettirilerek K noktasından K′ noktasına çekildiğinde ışık kaynağı S_2 yarığından uzaklaştığı için S_2 yarığına ışık daha geç ulaşır. Birbirine doğru aynı büyüklükteki hızla harekete geçen araçların, harekete geç başlayan araca yakın bir noktada buluşması gibi girişim desenini oluşturan noktalar da geciken kaynak tarafına kayar. Bu nedenle merkezî aydınlık saçak A_0' noktasında oluşur (Şekil 3.13). Saçak genişliği değişmez.

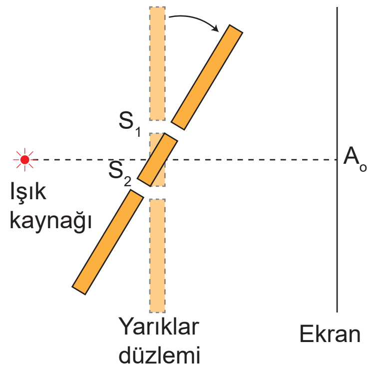


Şekil 3.13: *Işık kaynağının yarık düzlemine paralel hareket ettirilmesi*

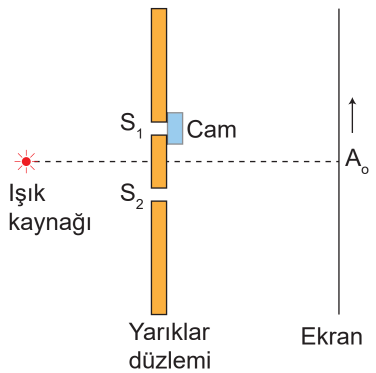


Şekil 3.14: *Yarık düzlemiyle ekran arasına saydam ortam konulması*

4. Yarıklar düzlemi ile ekran arası kırıcılık indisi havaya göre daha büyük olan saydam bir ortamla doldurulursa havadan saydam ortama geçen ışığın ortalama hızı azalır ve dalga boyu küçülür. Bu nedenle saçak genişliği azalır. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez (Şekil 3.14).
5. Yarıklar düzlemi döndürülürse yarıklar arasındaki dik uzaklık azalacağından saçak genişliği artar. Merkezî aydınlık saçağın yerinin değişip değişmeyeceği hakkında kesin bir şey söylenemez (Şekil 3.15).

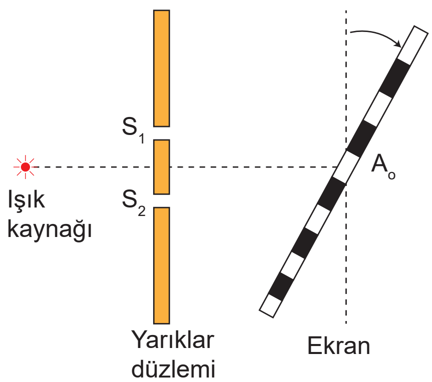


Şekil 3.15: *Yarık düzleminin döndürülmesi*

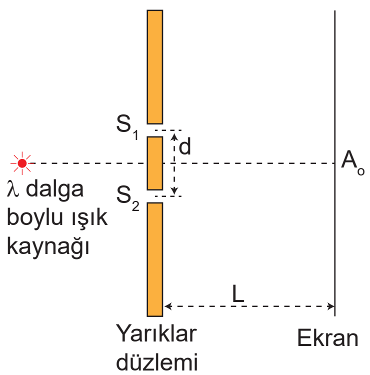


Şekil 3.16: *S_1 yarığı önüne cam yerleştirildiğinde merkezî aydınlık saçağın kayma yönü*

6. Yarıklardan birinin önüne saydam madde konulursa S_1 yarığından geçen ışık geç kalır. Bu nedenle merkezî aydınlık saçak S_1 yarığı tarafına kayar. Saçak genişliği değişmez (Şekil 3.16).
7. Ekran döndürülürse ekranın yarıklardan uzaklaşan bölümünde saçak genişlikleri artarken yarıklara yaklaşan bölümünde saçak genişliği azalır. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: *Ekranın döndürülmesi*



Örnek

Işığın çift yarıkla girişimi deneyinde saçak genişliğini artırmak için

I. Kullanılan ışığın dalga boyunu küçültmek (λ)

II. Ekran ile yarıklar düzlemi arasındaki uzaklığı artırmak (L)

III. Yarıklar arasındaki uzaklığı azaltmak (d)

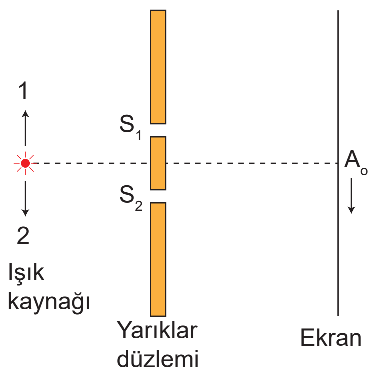
işlemlerinden hangileri tek başına yapılabilir?

Çözüm

Saçak genişliği ışığın dalga boyu ve ekranla yarık düzlemi arasındaki uzaklık ile doğru, yarıklar arası uzaklık ve ortamın kırıcılık indisiyle ters orantılıdır. Dalga boyu büyük olan ışık kullanılmalıdır. Bu nedenle I. öncül yanlıştır. II ve III. öncüller doğrudur.

Sıra Sizde - 5

Hava ortamında yapılan şekildeki ışığın çift yarıkta girişimi deneyinde merkezî aydınlık saçağın ok yönünde kayması için



I. Işık kaynağı 1 yönünde hareket ettirilmelidir.

II. S_1 yarığı önüne saydam madde konulmalıdır.

III. Yarıklar düzlemiyle ekran arası su ile doldurulmalıdır.

işlemlerinden hangileri tek başına yapılabilir?

Çözüm

Sıra Sizde - 6

Hava ortamında yapılan çift yarıkta kırınım deneyi düzeneğinde yeşil ve mavi renkli ışıklar aynı anda kullanılıyor.

Buna göre ekran üzerinde hangi renkte saçaklar oluşabilir?

Çözüm

3.1.4. Işığın Tek Yarıkta Kırınımına Etki Eden Değişkenler

Doğrusal su dalgalarının dalga boylarına eşit ya da dalga boylarından daha küçük aralığa sahip yarıklardan geçerken bükülerek yollarına devam ettiği ve bu olaya kırınım denildiği ifade edilmişti.

Işık da tek yarıktan geçerken su dalgaları gibi yarık kenarlarından bükülerek yoluna devam eder mi?

Işığın tek yarıkta kırınımına etki eden değişkenleri belirlemek için “Işığın tek yarıkta kırınımı” etkinliğini yapınız.

ETKİNLİK

2. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı	Işığın tek yarıkta kırınımı
Etkinliğin Amacı	Işığın tek yarıkta kırınımı sonucunda ekranda oluşan desenin çizilmesini sağlamak
Kullanılan Malzemeler	Bilgisayar, tablet veya etkileşimli tahta

Etkinliğin Hazırlanışı

1. Adım: Karekodu okutarak ışığın tek yarıkta kırınımı simülasyonunu inceleyiniz.

2. Adım: Kırmızı renkli ışığı seçerek oluşan kırınım desenini inceleyiniz. Deseni aşağıdaki bölgeye çiziniz.

3. Adım: Yeşil renkli ışığı seçerek oluşan kırınım desenini inceleyiniz. Deseni aşağıdaki bölgeye çiziniz.

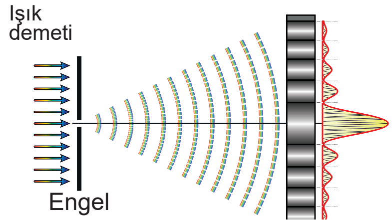
4. Adım: Yeşil ışığı değiştirmeden yarık genişliğini artırınız. Deseni inceleyip görüntüsünü aşağıdaki bölgeye çiziniz.

5. Adım: Işığın rengini ve yarık genişliğini değiştirmeden ekranı yarıktan uzaklaştırınız. Deseni inceleyip görüntüsünü aşağıdaki bölgeye çiziniz.

Etkinliğin Sonuçlandırılması

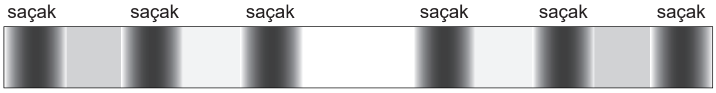
1. Etkinliğin 2 ve 3. adımlarında çizdiğiniz kırınım desenlerini karşılaştırınız. Desenlerin arasındaki farkları belirleyiniz.
2. Etkinliğin 3 ve 4. adımlarında çizdiğiniz kırınım desenlerini karşılaştırınız. Desenlerin arasındaki farkları belirleyiniz.
3. Etkinliğin 3 ve 5. adımlarında çizdiğiniz kırınım desenlerini karşılaştırınız. Desenlerin arasındaki farkları belirleyiniz.
4. Elde ettiğiniz sonuçları arkadaşlarınızla tartışınız.

“Işığın tek yarıkta kırınımı” etkinliğinde görüldüğü gibi ışık dar bir aralıktan geçerken yarığın köşelerine yakın bölgelerde su dalgaları gibi bükülerek yollarına devam eder. Yarığı geçen ışık her yöne dağılarak ekran üzerinde aydınlık ve karanlık bölgeler oluşturur (Şekil 3.18).



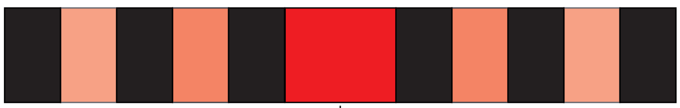
Şekil 3.18: *Tek yarıkta kırınım olayı ve oluşan saçaklar*

Ekran üzerinde oluşan desen, ışığın çift yarıkta girişimi sonucunda oluşturduğu girişim desenine benzer özellik gösterir. Ancak desenin merkezindeki merkezî aydınlık saçak, diğer saçaklara göre daha parlak ve geniştir. Merkezî saçağın iki tarafında sırasıyla karanlık ve aydınlık saçaklar sıralanır. Merkezî aydınlık dışında ardışık iki aydınlık ya da karanlık saçak arası mesafeye **saçak genişliği** denir. Saçak genişliği Δx sembolüyle gösterilir. Merkezî aydınlık saçağın genişliği $2\Delta x$ tir. (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: *Tek yarıkta girişim deseni*

Saçak genişliği kullanılan ışığın dalga boyuna bağlıdır. Işığın dalga boyu büyüdükçe saçak genişliği artar. Kırmızı ve yeşil renkli ışınların aynı tek yarık üzerine gönderilmesi sonucunda gözlenen saçak genişlikleri Şekil 3.20: a ve b'deki gibidir. Kırmızı ışığın dalga boyu, yeşil ışığın dalga boyundan büyük olduğu için kırmızı ışık kullanılarak elde edilen saçak genişlikleri daha büyüktür.





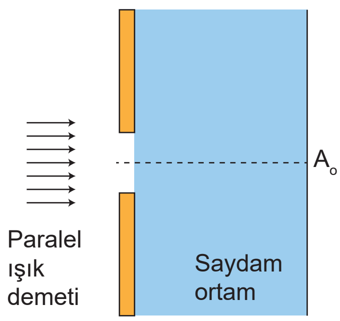
Şekil 3.20: *a) Kırmızı ışığın kırınım deseni b) Yeşil ışığın kırınım deseni*

Saçak genişliği yarık genişliğine bağlı olarak da değişir. Yarık genişliği arttıkça saçak genişliği azalır.

Saçak genişliğini etkileyen değişkenlerden biri de ekran ile yarık düzlemi arası uzaklıktır. Ekran ile yarık düzlemi arası uzaklık arttıkça saçak genişliği artar.

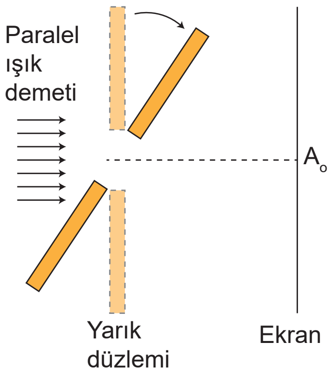
Işığın Tek Yarıkta Kırınımına Etki Eden Diğer Değişkenler

1. Işık kaynağının ışık şiddeti artırılırsa saçak parlaklıkları artar. Ancak saçak genişlikleri veya saçakların yerinde herhangi bir değişiklik olmaz.
2. Yarık düzlemi ile ekran arası kırıcılık indisi havaya göre daha büyük olan saydam bir ortamla doldurulursa ışığın hızı azalır ve dalga boyu küçülür. Bu nedenle saçak genişliği azalır. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez (Şekil 3.21).

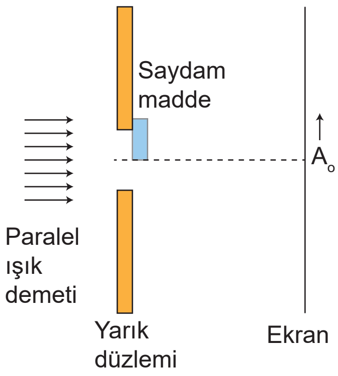


Şekil 3.21: *Yarık düzlemi ile ekran arasında havadan daha yoğun saydam ortam bulunması*

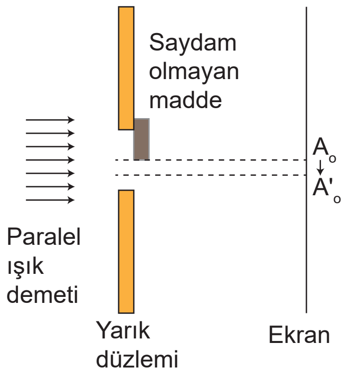
3. Yarık düzlemi döndürülürse yarıklar arasındaki dik uzaklık azalacağından saçak genişliği artar. Merkezî aydınlık saçağın ve girişim deseninin yerinin değişip değişmeyeceği hakkında kesin bir şey söylenemez (Şekil 3.22).



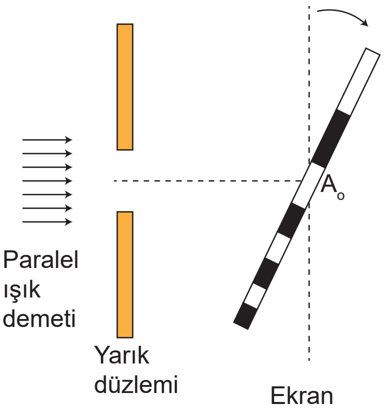
Şekil 3.22: *Yarık düzleminin ok yönünde döndürülmesi*



Şekil 3.23: *Yarığın üst kısmına konulmuş saydam madde*



Şekil 3.24: *Yarığın üst kısmına konulmuş saydam olmayan madde*



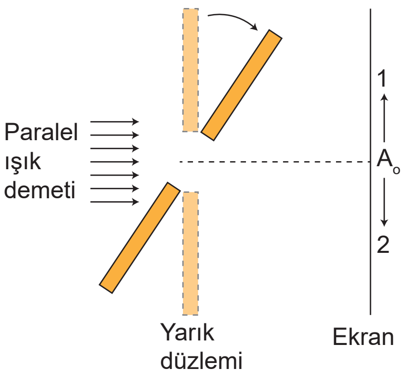
Şekil 3.25: *Ekranın döndürülmesi*

4. Yarık önüne şekildeki gibi saydam madde konulduğunda üst kısımdan geçen ışınlar geç kalır. Merkezî aydınlık saçak yukarı doğru kayar. Saçak genişliği değişmez (Şekil 3.23).

5. Yarık önüne saydam olmayan bir cisim konursa yarık genişliği küçülmüş olur. Saçak genişlikleri büyür. Merkezî aydınlık saçak oluşan yeni yarığın orta dikmesi üzerine kayar (Şekil 3.24).

6. Ekran döndürülürse ekranın yarıklara uzaklaşan bölümünde saçak genişlikleri artarken yarıklara yaklaşan bölümünde saçak genişliği azalır. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez (Şekil 3.25).

Sıra Sizde - 7



Işığın tek yarıkta yapılan girişim deneyinde yarık düzlemi saat yönünde bir miktar döndürülüyor.

Buna göre

I. Saçak genişlikleri artar.

II. Merkezî aydınlık saçak 1 yönünde kayar.

III. Ekranın alabileceği saçak sayısı artar.

yargılarından hangileri <u>kesinlikle</u> doğrudur?

Çözüm

3.1.5. Işığın Dalga Doğası

Su dalgalarında gözlendiği gibi dalgaların keskin kenarlardan ya da bir açıklıktan geçerken bükülerek yoluna devam etmesi, ikiden fazla dalganın birbiri içerisinde geçişi sırasında oluşan girişim deseni gibi olaylar, incelenen fiziksel niceliğin dalga özelliğine sahip olduğunu gösterir.

Çift yarık üzerine ve tek yarık üzerine düşürülen ışığın ekranda aydınlık ve karanlık saçaklar oluşturması ışığın kırınım ve girişim olaylarını gerçekleştirdiğini gösterir. Bu olaylardan hareketle ışığın dalga doğasına sahip olduğu çıkarımı yapılır.

Sıra Sizde - 8

Öğretmen Sami Bey, öğrencilerine birbirine yakın iki yarık ve tek yarık üzerine ışık düşürüldüğünde ekranda oluşacak görüntülerin nasıl olabileceğini tahmin etmelerini ve bu tahminlerini defterlerine çizmelerini ister.

Sami Bey, öğrencilerin ışığın çift yarık üzerine düşürülmesiyle oluşacak görüntüyü Şekil I, tek yarık üzerine düşürülmesiyle Şekil II'deki gibi çizdiklerini görür.

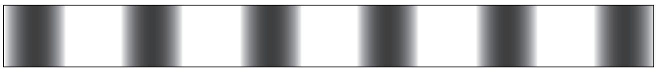


Şekil I

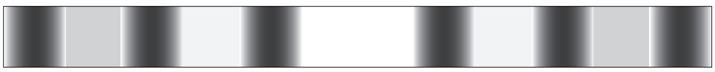


Şekil II

Bunun üzerine ışığın çift yarıkta girişimi ve tek yarıkta kırınımı deneylerini yapan Sami Bey ve öğrencileri deney neticesinde çift yarık üzerine düşürülen ışığın Şekil III'teki gibi tek yarık üzerine düşürülen ışığın da Şekil IV'teki gibi görüntü oluşturduğunu görürler.



Şekil III



Şekil IV

Görüntülerin öğrencilerin bekledikleri gibi oluşmamasının sebebi nedir?

Çözüm

Hatırlatma

Dalgaların frekansı sadece dalga kaynağının frekansına bağlıdır. Kaynağın özellikleri değişmediği sürece frekansı değişmez.

Hatırlatma

Dalgaların hızı sadece ortam özelliklerine bağlıdır. Aynı ortamdaki dalgaların hızları da aynıdır.

Hatırlatma

Ses havada yaklaşık 340 m/s hızla yayılır.

Hatırlatma

Frekansı düşük seslere **kalın ses** ya da **pes ses**, frekansı yüksek seslere **ince ses** ya da **tiz ses** denir.

3.1.6. Işık ve Ses Dalgalarında Doppler Olayının Etkileri

Işık, ses ve su dalgalarında gözlenen frekanslar, kaynak ve gözlemci hareketine bağlı olarak farklı algılanır. Gözlenen frekanstaki bu değişim Christian Doppler (Krisçın Dopler) tarafından açıklandığı için **Doppler olayı** olarak adlandırılır.

Ambulansın size yaklaşması ve uzaklaşması sırasında siren sesinin nasıl değiştiğini fark ettiniz mi?

Duran bir ambulansın sireninden çıkan sesin frekansı sabittir. Yol kenarında bekleyen Mert ve Ceren'in işittiği sesin frekansı ambulans sireninden yayılan ses dalgalarının frekansıyla aynıdır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: *Ses kaynağı ve gözlemcilerin hareketsiz olması durumu*

Ambulans Mert'e doğru hareket ettiğinde ambulansın sireninden yayılan sesin frekansıyla Mert ve Ceren'in işittiği sesin frekansları eşit olmaz (Şekil 3.27).



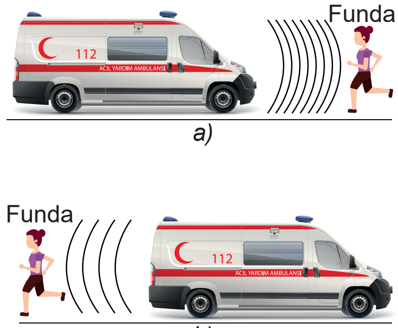
Şekil 3.27: *Ses kaynağının hareketli ve gözlemcilerin hareketsiz olması durumu*

Ambulans (ses kaynağı) Mert'e doğru yaklaştıkça sirenden yayılan sesin hızı değişmezken kaynaktan çıkan ses dalgaları Mert'e yaklaşır. Böylece önceden üretilen ses dalgaları birbirine yaklaşır ve Mert'in birim zamanda işittiği ses dalgalarının sayısı artar. Mert, ambulans duruyorken işittiği sesten daha ince bir ses işitir.

Ambulans Ceren'den uzaklaştıkça ses dalgalarının üretim noktaları da uzaklaşır. Böylece önceden üretilen ses dalgaları ile sonradan üretilen ses dalgaları arasındaki mesafe de sürekli artar. Ceren'in birim zamanda işittiği ses dalgası sayısı azalır. Ceren, ambulans duruyorken işittiği sesten daha kalın bir ses işitir.

Ambulansların üzerinde tanıtıcı işaretler olması onların uzaktan tanınmalarına yardımcı olur ve özel sirenleri de trafikte öncelik sağlar. Kendisine, ailesine çevresine karşı sorumluluk duygusu içinde olan bireylerin trafikte ambulanslara öncelik tanıması gerekmektedir.

Ses kaynağının hareketsiz, gözlemcinin hareketli olması durumunda gözlemci ses kaynağına yaklaşırken birim zamanda işittiği ses dalgası sayısı artacağından işittiği sesin frekansı, kaynağın ürettiği sesin frekansından büyüktür. Gözlemci ses kaynağından uzaklaşırken gözlemcinin birim zamanda işittiği sesin frekansı, kaynağın ürettiği sesin frekansından küçüktür. Bu durumda Funda'nın ambulansa yaklaşırken işittiği ses, ambulans dururken işittiği sese göre daha ince (Şekil 3.28: a), ambulanstan uzaklaşırken işittiği ses, ambulans dururken işittiği sese göre daha kalındır (Şekil 3.28: b).



Şekil 3.28: *a) Gözlemci, hareketsiz ses kaynağına yaklaşırken b) Gözlemci, hareketsiz ses kaynağından uzaklaşırken*

Sıra Sizde - 9

Kendisine yaklaşmakta olan itfaiye aracına doğru ilerleyen bir motosikletlinin itfaiye aracına yaklaştığı süre boyunca duyduğu ses nasıl değişir? Açıklayınız.

Çözüm

Doppler olayı hem kaynağın hem de gözlemcinin hareketli olması durumunda da gözlemlenebilir. Kaynak ve gözlemci birbirinden uzaklaşıyorsa işitilen sesin frekansı, kaynağın ürettiği sesin frekansından düşük, yaklaşıyorsa büyüktür.

İşitilen sesin frekansının kaynağın ürettiği sesin frekansından farklı olmasının sebeplerinden biri de ortamın hareketli olmasıdır. Rüzgârlı havalarda kaynağın ürettiği sesin frekansı ile işitilen sesin frekansı farklıdır.

Karayollarında arabaların hız sınırını aşıp aşmadıklarını kontrol eden trafik polislerinin kullandığı radarlar da elektromanyetik dalgaların Doppler olayından faydalanır. Radarın hareketli bir araca gönderdiği elektromanyetik dalgaların frekansı ile araçtan yansıyanların frekansında meydana gelen değişim miktarı, arabanın hızını belirler. Bu sayede arabanın hız sınırını aşıp aşmadığı tespit edilir (Görsel 3.9).



Görsel 3.9: *Radarla hız kontrolü*

Dünya'dan uzaklaşan yıldızlardan gelen elektromanyetik dalgaların dalga boyunun büyümesi sonucunda algılanan ışığın rengi kırmızıya doğru yaklaşır. Bunun sonucunda "Yıldızlar, Dünya'dan ne kadar uzaktadır ve ne kadar hızla uzaklaşır?" sorularına cevaplar bulunmuştur.

Tıpta görüntülemede kullanılan ultrason cihazlarında da ses dalgalarında meydana gelen Doppler olayından faydalanılır. Ultrason cihazı, yüksek frekanslı ve insan kulağının işitemeyeceği ses dalgalarının doku ve organlardan geri yansıması sırasında frekansta meydana gelen kaymadan yararlanılarak geliştirilmiştir (Görsel 3.10).



Görsel 3.10: *Ultrason cihazı*

2. BÖLÜM
ELEKTROMANYETİK DALGALAR

Konular

Anahtar Kavramlar

- Elektromanyetik dalga
- Elektromanyetik spektrum

- **Elektromanyetik dalgaların oluşması ve ilerlemesi mekanik dalgalar ile aynı mıdır?**
- **Elektromanyetik dalgaların günlük hayattaki kullanım alanları neler olabilir?**

Bu bölümde dalga spektrumunda yer alan dalga çeşitlerinin günlük hayatta kullanım alanlarından bahsedilecektir.

Elektromanyetik dalgaların ortak özellikleri açıklanacak ve günlük hayattan örneklerle ilişkilendirilecektir.



3.2.1. Elektromanyetik Dalgaların Ortak Özellikleri

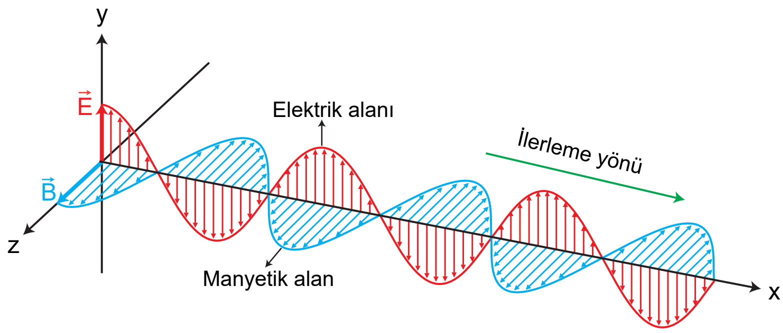
Işık, çok eski zamanlardan beri insanoğlunun ilgisini çekmiş, insanoğlu ışığın ne olduğunu ve nasıl meydana geldiğini sürekli sorgulamıştır. Bu sorgulamaların en doğru cevabını İskoçyalı Fizikçi James Clerk Maxwell (Ceymis Kılerk Maksvel, 1831-1879) vermiş (Görsel 3.11) ve elektromanyetik teorinin kurucusu olarak tarihe geçmiştir.



Görsel 3.11: *James Clerk Maxwell (Temsili resmi)*

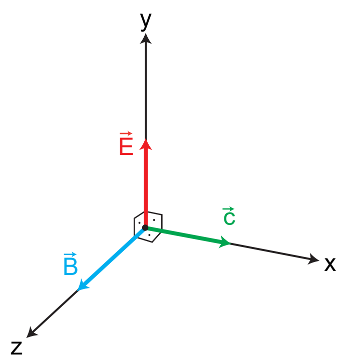
Sabit bir yük, etrafında sadece elektrik alan oluşturur. Sabit bir hızla hareket eden yükler ise sabit bir akım meydana getirir. Bu durumda hem elektrik hem de manyetik alan oluşur. Ancak elektrik ve manyetik alanın büyüklüğü değişmediği için elektromanyetik dalga oluşmaz.

Yüklü parçacıkların ivmeli hareket yapmaları sonucunda birbirine ve dalgaların ilerleme yönüne dik iki düzlem üzerinde değişken elektrik ve manyetik alan oluşur. Elektrik alanının değişmesi manyetik alanı, manyetik alanın değişmesi elektrik alanını meydana getirir. Elektromanyetik dalgaların bileşenleri Şekil 3.29'da verilmiştir.



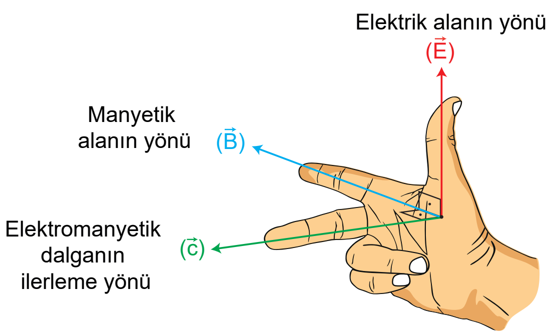
Şekil 3.29: *Elektromanyetik dalgaların bileşenleri*

Bir elektromanyetik dalgada elektrik, manyetik alan ve ilerleme doğrultusu birbirine diktir. Elektromanyetik dalgalarda elektrik ve manyetik alan bileşenleri ile yayılma doğrultusunun birbirine dik olması elektromanyetik dalgaların enine dalga olduğunun göstergesidir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30: *Bir elektromanyetik dalgada $\vec{E}$, $\vec{B}$ ve $\vec{c}$ nin koordinat düzleminde gösterimi*

Elektromanyetik dalgaların ilerleme yönü sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elin baş, işaret ve orta parmağı birbirine dik olacak şekilde tutulduğunda başparmak $\vec{E}$ yönünde, işaret parmağı $\vec{B}$ yönündeyken orta parmak $\vec{c}$ nin yönünü gösterir (Şekil 3.31).

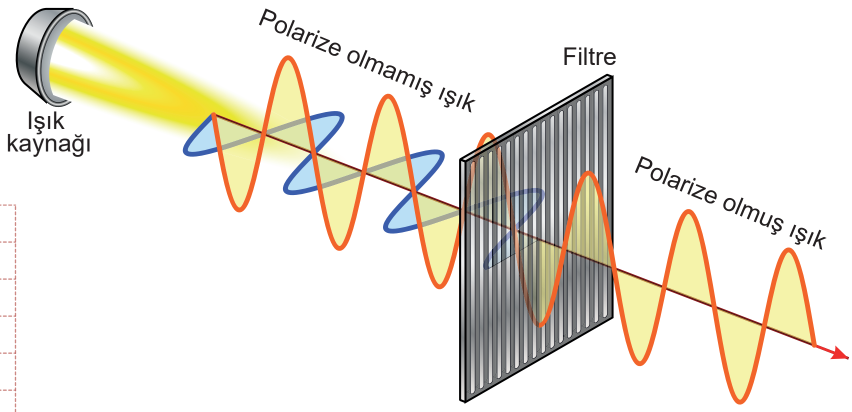


Şekil 3.31: *Sağ el kuralı*

Elektromanyetik dalgaların ortak özellikler aşağıda verilmiştir.

1. Yüklü parçacıkların ivmeli hareket yapması sonucu oluşur.
2. Doğrusal yolla yayılır.
3. Elektrik ve manyetik alan bileşenleri eş zamanlı artar ve azalır.
4. Enine dalgadır.
5. Elektrik alanı, manyetik alan ve ilerleme doğrultuları birbirine diktir. Elektrik alanın büyüklüğü manyetik alanın büyüklüğüyle ışık hızının çarpımına eşittir ($E = B \cdot c$).
6. Mekanik dalgalardan farklı olarak boşlukta da yayılabilir.
7. Boşluktaki yayılma hızları, ışık hızına eşittir.
8. Enerji taşır, bu enerjiyi soğuran yüzeylerde ısınmaya neden olur.
9. Yansıma, kırılma ve girişim gibi dalga olaylarının hepsini gerçekleştirir.
10. Elektrik ve manyetik alanda sapmaz.
11. Enerjileri frekansları ile doğru orantılı, dalga boyları ile ters orantılıdır.
12. Polarize edilebilir (Kutuplanabilir).

Polarizasyon sadece enine dalgalarda olur. Polarize edilmemiş bir dalga her yöne titreşirken polarize edilen bir dalga sadece bir yöne titreşir (Şekil 3.32). Polarize güneş gözlükleri ve fotoğraf makineleri, ışığı kutuplama özelliğine sahiptir. Böylece görüntü daha net algılanır.



Şekil 3.32: *Işığın polarizasyonu*

Sıra Sizde - 10

Tabloda elektromanyetik dalgalara ait bazı özellikler verilmiştir.

1	Fotonlardan oluşur.		6	Gözle görülebilir.	
2	Enerji taşır.		7	Kutuplanabilir.	
3	Frekansları aynıdır.		8	Elektrik ve manyetik alan dalgaları aynı fazdadır.	
4	Enine dalgadır.		9	Canlılara zarar verir.	
5	Yayılmaları için maddesel ortam şart değildir.		10	Elektrik ve manyetik alanda sapmaz.	

Buna göre elektromanyetik dalgalara ait ortak özellikleri karşılarına "✓" işaretiyle belirleyiniz.

3.2.2. Elektromanyetik Spektruma Günlük Hayattan Örnekler

Elektromanyetik dalgalar insan hayatında önemli yer tutar. İletişimde, sanayide, tıpta ve bilimsel çalışmalarda elektromanyetik dalgalar sıklıkla kullanılır. Çevrede çok miktarda elektromanyetik dalga olmasına rağmen bunların çok küçük bir kısmı görülebilir. İnsan gözü tarafından algılanabilen elektromanyetik dalga çeşidi görünür ışıktır. Işık ise görmeyi sağlayan bir enerji çeşididir. Cisimler üzerine düşen ışığı yansıtmasıyla görünebilir hâle gelir.

Diğer dalga çeşitlerinde olduğu gibi elektromanyetik dalgalar için de dalga boyu (λ), frekans (f) ve ilerleme hızının büyüklüğü (ϑ) arasındaki ilişki

$\lambda = \frac{\vartheta}{f}$ şeklinde ifade edilir. Elektromanyetik dalgalar ışık hızı ile ilerlediğinden $\vartheta = c$ olur ve bu durumda

$$\lambda = \frac{c}{f}$$ olur.

Elektromanyetik dalgaların enerjileri frekanslarıyla doğru orantılıdır. Elektromanyetik dalganın frekansı arttıkça dalganın enerjisi artar. Elektromanyetik dalganın enerjisi (E) ve frekansı (f) arasındaki ilişki

$$E = h \cdot f$$ bağıntısı ile verilir.

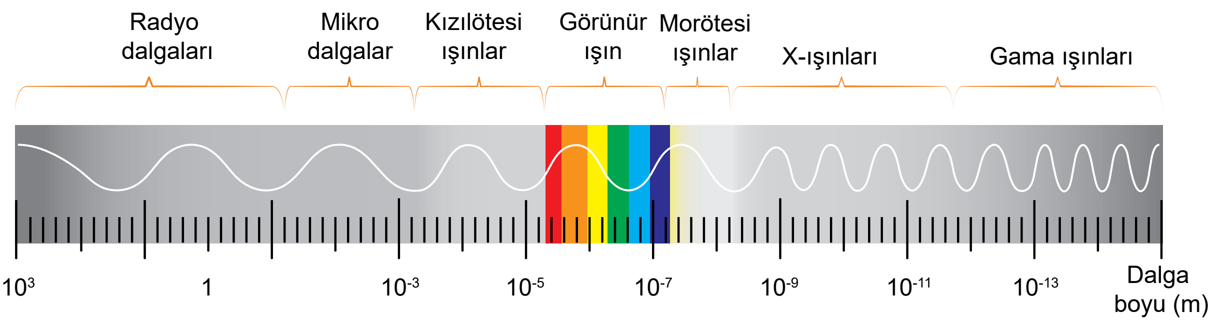
Bağıntıda yer alan h Planck sabitidir. (Planck sabitinin yaklaşık değeri $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34} \, j \cdot s$ dir.)

Frekans için $f = \frac{c}{\lambda}$ yazılırsa enerji denklemi

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$ olur.

Bu denkleme göre elektromanyetik dalgaların enerjileri dalga boyları ile ters orantılıdır.

Elektromanyetik dalga çeşitlerini dalga boylarına göre sıralayan çizelgeye **elektromanyetik dalga spektrumu** denir (Şekil 3.33).



Şekil 3.33: *Elektromanyetik dalga spektrumu*

Elektromanyetik dalga spektrumunda soldan sağa doğru gidildikçe dalga boyunun azaldığı, frekans ve enerjinin arttığı görülür.



Görsel 3.12: *Radyo*



Görsel 3.13: *Televizyon*



Görsel 3.14: *Radyo teleskop anteni*

Spektrumda yer alan bir elektromanyetik dalga çeşidi ile yanındaki arasında keskin bir ayrım yoktur.

Elektromanyetik dalga çeşitlerinin oluşması ve kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

Radyo Dalgaları

Radyo dalgaları, elektromanyetik dalgaların en uzun dalga boyuna sahip çeşididir. 10^4 m ile 0,1 m arasında değişen dalga boylarına sahiptir.

Radyo ve televizyon vericilerinin antenlerinden yayılan dalgalar, alıcı cihazların antenleri tarafından toplanır. Alınan dalgalar radyolarda (Görsel 3.12) sese dönüşürken televizyonlarda (Görsel 3.13) hem sese hem de görüntüye dönüşür. Cep telefonlarında iletişim, radyo dalgalarıyla sağlanır. Dalga boyları, radyo ve televizyonlarda kullanılan dalga boylarından küçüktür.

Radyo dalgaları uzay araştırmaları için de önemlidir. Yıldızlar ve galaksiler farklı dalga boylarında ışık yayar. Yayılan ışığın bir kısmı spektrumda yer alan radyo dalgaları bölgesine karşılık gelir. Bu dalgalar radyo teleskoplarıyla (Görsel 3.14) incelenerek gök cisimleri hakkında yeni bilgiler elde edilir.

Mikrodalgalar

Mikrodalgaların dalga boyları 0,3 m ile 10^{-4} m arasında değişir. Mikrodalgalar, radyo dalgaları gibi iletken içerisindeki yüklü parçacıkların ivmeli hareket etmesi sonucu oluşur. Radyo dalgalarına yakın olan kısmındaki dalgalar, evlerde kullanılan mikrodalga fırınlarda (Görsel 3.15) yiyecekleri pişirmek veya ısıtmak için kullanılır. Fırın içerisinde oluşan dalgalar, yiyeceklerin içerisinde bulunan su moleküllerini titreştirerek ısıyı doğrudan bu moleküllere aktarır. Bu şekilde ısınma işlemi daha kısa sürede gerçekleşir.



Görsel 3.15: *Mikrodalga fırın*



Görsel 3.16: *Hava radarı anteni*

Hava sahasını kullanan uçakların takibinde (Görsel 3.16) veya trafikte seyir hâlindeki araçların hızlarının belirlenmesinde kullanılan radarlarda da kısa dalga boyuna sahip mikrodalgalar kullanılır. Radarlardan yayılan dalgalar bir yüzeye çarpıp geri geldiğinde elektronik devreler tarafından görüntüye dönüştürülür ve cismin konumu belirlenir.

Kızılötesi Dalgalar

Kızılötesi dalgaların dalga boyları 1 mm ile $7 \cdot 10^{-7}$ m arasında değişir. Bu bölgedeki dalgalara **infrared dalgalar** da denir. Kızılötesi dalgalar sıcak cisimler tarafından yayılır. Cisimlerden yayılan kızılötesi dalga termal kameralar tarafından algılanarak karanlık ortamlarda bile görüntü elde edilebilir (Görsel 3.17). Termal kamera ekranında görülen renkler, cisimlerin sıcaklıkları azaldıkça kırmızıdan mora doğru değişim gösterir.

Kızılötesi dalgalardan; kısa mesafeli iletişimde, televizyon kumandalarında (Görsel 3.18) ve fizik tedavi kliniklerinde faydalanılır.



Görsel 3.17: *Termal kamera görüntüsü*



Görsel 3.18: *Televizyon kumandası*

Görünür Bölge

İnsan gözünün elektromanyetik dalgalar içerisinde görebildiği kısmına **görünür bölge** denir. Dalga boyu $7 \cdot 10^{-7}$ m olan kırmızı ışık ile dalga boyu $4 \cdot 10^{-7}$ m olan mor ışık arasındaki renklerden oluşur.

Cisimler, üzerine düşen güneş ışığını yansıttıkları için görünebilir hâle gelir (Görsel 3.19). Renkleri birbirinden ayıran temel özellik, dalga boylarının farklı olmasıdır. Gökkuşağında görülen bütün renkler, dalga boyları görünür bölge içerisinde kalan elektromanyetik dalgalardan oluşur (Görsel 3.20).

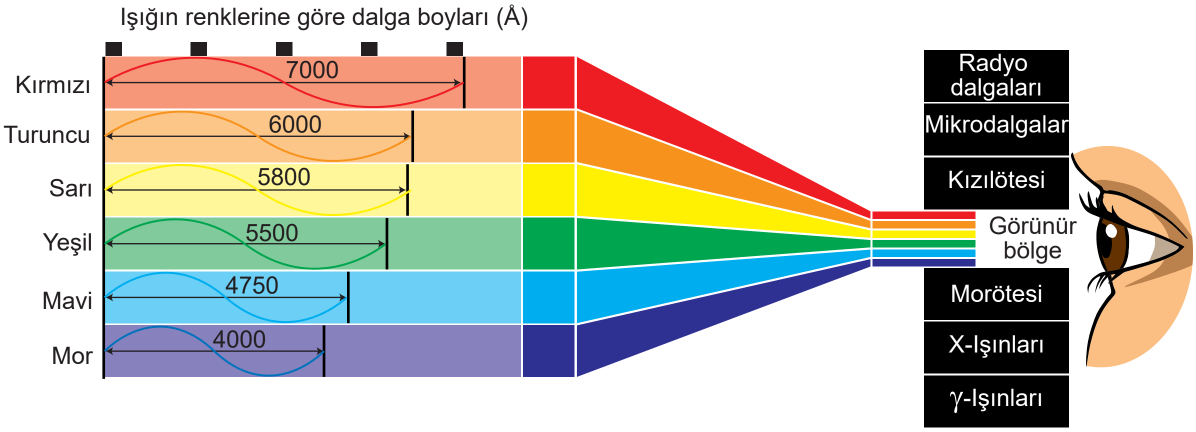


Görsel 3.19: *Güneş ışığı altında ayçiçeği tarlasının görüntüsü*



Görsel 3.20: *Gökkuşağı*

Elektromanyetik dalga spektrumunda yer alan görünür bölge, dalga boyu ortalama 7000 Å olan kırmızı ışık ile başlayıp dalga boyu küçülerek sırası ile turuncu, sarı, yeşil, mavi renkle devam edip ortalama dalga boyu 4000 Å olan mor ışık ile biter (Şekil 3.34).



Şekil 3.34: *Görünür bölgedeki renklerin dalga boyları*

Morötesi (Ultraviyole) Dalgalar

Morötesi dalgaların dalga boyları $4 \cdot 10^{-7}$ m ile $6 \cdot 10^{-7}$ m arasında değişir. Kaynağı genellikle Güneş'tir. Güneş'ten gelen ultraviyole ışınları ozon tabakası tarafından süzülerek zararlı etkileri azaltılır.

Ultraviyole ışınlar insan derisinde tahribat yaparak deri kanseri riskini artırır. Ultraviyole ışınlarından korunmak için koruyucu kremler kullanılabilir.

Ultraviyole ışınları özellikle dezenfeksiyon için kullanılır. Ameliyathanelerde ve diş kliniklerinde kullanılan malzemeler kimyasal maddelerle temizlendikten sonra ultraviyole ışınlarla mikroplardan arındırılır (Görsel 3.21).



Görsel 3.21: *Dezenfeksiyon cihazı*

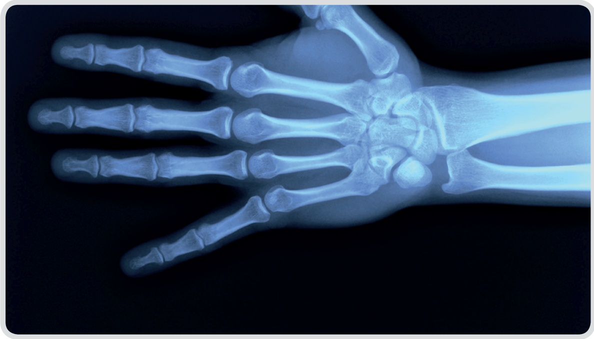
X-Işınları

X-ışınlarının dalga boyları 10^{-8} m ile 10^{-12} m arasında değişir. X-ışınları hızlandırılmış elektronların bir metale çarptırılıp durdurulmasıyla veya atomların yörüngelerinde bulunan elektronların geçişleri sonucunda oluşturulur. X-ışınları Alman Fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen (Vilhem Konrad Röntgen, 1845-1923) tarafından 1895 yılında keşfedilmiştir.

X-ışınları tıpta teşhis ve tedavi amaçlı kullanılır. Röntgen cihazında (Görsel 3.22) oluşturulan X-ışınları doku içerisinden geçerken farklı soğurulma katsayılarına sahip bölgeler tarafından farklı miktarlarda soğurulur. Vücudu geçen ışınlar bu ışınlara duyarlı bir film üzerine düşürülür. Filme ulaşan ışınların şiddetleri farklı olduğundan değişik tonlarda bir görüntü oluşur (Görsel 3.23).



Görsel 3.22: *Röntgen cihazı*



Görsel 3.23: *Röntgen filmi*

Bilgisayarlı tomografi cihazları (Görsel 3.24) röntgen cihazlarının geliştirilmiş şeklidir. Bu cihazlar vücuttaki bir bölgenin kesit görüntüsünü çıkarabilme yeteneğine sahiptir. X-ışınları belli kanser tedavilerinde kanserli hücrelerin yok edilmesi için de kullanılır.

X-ışınları, havaalanlarında ve alışveriş merkezlerinde valizlerin ve çantaların kontrolünde kullanılan X-ray cihazlarında (Görsel 3.25) kullanılır. Ayrıca X-ışınları, katıhal fiziği, katı kristallerin yapısı, bina kolonlarının depreme dayanıklılığı, sanayi alanındaki dökümler, kaynakla yapılan birleştirme işlemlerinin sağlamlığının incelenmesinde kullanılır.



Görsel 3.24: *Bilgisayarlı tomografi cihazı*



Görsel 3.25: *X-ray cihazı*

Gama Işınları

Gama ışınları, elektromanyetik dalga spektrumunun en küçük dalga boyuna sahiptir. Dalga boyları 10^{-10} m ile 10^{-14} m arasında değişir. Radyoaktif çekirdeklerin nükleer tepkimeleri sırasında yayılır. Gama ışınları yüksek enerjili ışınlar olduğundan canlı dokularda tahribat oluşturur. Bu nedenle radyasyon uyarı sembolü (Görsel 3.26) olan yerlerden uzak durulmalıdır. Astronomide, gezegen özelliklerinin belirlenmesi ve kanserli hücrelerin yok edilmesinde kullanılır.



Görsel 3.26: *Radyasyon uyarı sembolü*

Örnek

Bir radyo vericisinin anteni 200 m dalga boylu elektromanyetik dalgalar yaymaktadır.

Buna göre yayılan dalgaların frekansı kaç s^{-1} dir? ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

Çözüm

Frekansın dalga boyu ve ışık hızına bağlı ifadesi

$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{200} = 1,5 \cdot 10^6\ s^{-1}$ bulunur.

Örnek

X-ışınlarından günlük hayatta pek çok alanda yararlanılmaktadır.

Buna göre

I. Havaalanlarındaki valizlerin kontrolünde

II. Binaların depreme dayanma sınırının tespitinde

III. Tıpta görüntüleme amacıyla

hangilerinde X-ışınları kullanılmaktadır?

Çözüm

Havaalanlarındaki valizlerin kontrolünde, X-ray cihazıyla bina kolonlarının depreme dayanma sınırının tespitinde ve tıpta görüntüleme amacıyla röntgen cihazları kullanılır. Bu cihazlarda kullanılan elektromanyetik dalga çeşidi X-ışınlarıdır. Bu durumda I, II ve III doğru olur.

Sıra Sizde - 11

Aşağıdakilerden hangisi elektromanyetik dalgalara ait bir özelliktir?

A) Boyuna dalgadır.

B) Elektrik ve manyetik alandan etkilenir.

C) Yayılmaları için maddesel ortama ihtiyaç vardır.

D) Boşlukta hızları değişkendir.

E) Yüklü parçacıkların ivmeli hareketleri sonucunda oluşur.

Çözüm

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.

dalga katarı	girişim	yüklü parçacıklar
merkezî aydınlık	radyo	Doppler
düğüm noktası	manyetik alan	kırınım
dalga	Maxwell	elektromanyetik dalga spektrumu

1. Elektromanyetik dalgalar .... ivmeli hareket yapması sonucunda oluşur.

2. Tek renkli ışınlar bir yarıktan geçirilirse .... deseni oluşur.

3. Maxwell denklemlerine göre elektrik alanının değişmesi .... oluşturur.

4. Çift tepe ve çift çukur noktalarının birleştirilmesiyle elde edilen çizgilere .... denir.

5. Çift yarıkta girişim deneyinde yarıkların orta dikmesi üzerinde oluşan aydınlık saçağa .... saçak denir.

6. İki ya da daha fazla sayıda dalganın birbiri içerisinden geçmesi olayına .... denir.

7. Elektromanyetik dalga çeşitlerinin dalga boylarına göre sıralandığı çizelgeye .... denir.

8. Elektromanyetik dalga teorisinin kurucusu ....

9. Işığın .... doğası ışıkta girişim ve kırınım olaylarıyla açıklanır.

10. Aynı anda çalışan özdeş noktasal iki dalga kaynağının ürettiği dalgaların tepesi ile çukuru çakıştığında .... oluşur.

11. Elektromanyetik dalgaların en büyük dalga boylu olanı .... dalgalarıdır.

12. Ses kaynağının hareketinden dolayı işitilen sesin frekansındaki değişim olayına ses dalgalarında .... etkisi denir.

B) Aşağıdaki soruların cevaplarını boş bırakılan alana yazınız.

13. Dalgakıran kenarına çarpan doğrusal dalgaların bükülerek yollarına devam etmesi dalgaların hangi özelliğiyle açıklanır?

Cevap: ....

14. Aynı anda çalıştırılan özdeş kaynakların oluşturduğu girişim deseninde oluşan dalga katarı sayısı, kaynaklar arası uzaklıkla doğru orantılıyken dalganın hangi fiziksel niceliğiyle ters orantılıdır?

Cevap: ....

15. Hava ortamında yapılan ışığın çift yarıkta girişim deneyinde yarık düzlemiyle ekran arası su ile doldurulursa saçak genişliği nasıl değişir?

Cevap: ....

16. Yol kenarında durmakta olan Adem, kendisine yaklaşmakta olan itfaiye aracından duyduğu sesin frekansını, sirenden çıkan sesin frekansına göre nasıl algılar?

Cevap: ....

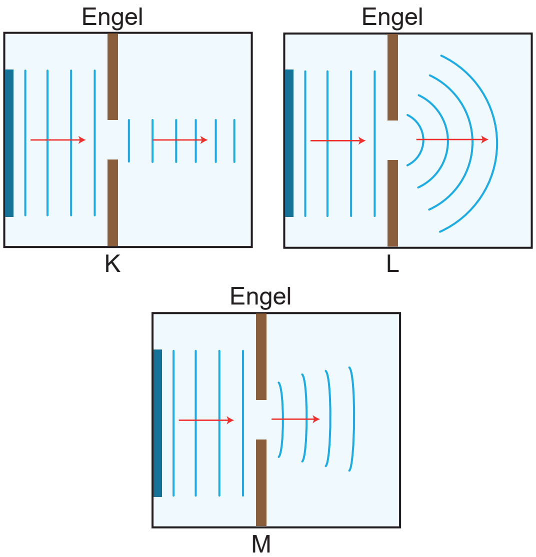
17. Bir okulun öğrencileri Erasmus programı kapsamında yurt dışı gezisi yapmak üzere havaalanına gelir. Öğrencilerden biri, valizlerin açılmasına gerek kalmadan bir cihazdan geçirilerek kontrol edildiğini gözlemler.

Öğrencinin gözlemlediği cihazda kullanılan elektromanyetik dalga çeşidi hangisidir?

Cevap: ....

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

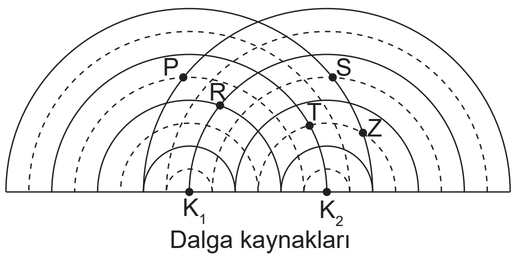
18. Derinlikleri sabit ve h_K, h_L ve h_M olan ortamlarda, yarık genişlikleri eşit olan engellere gönderilen doğrusal dalgaların izlediği yol şekillerdeki gibidir.



Buna göre ortamların derinlikleri h_K, h_L ve h_M arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

A) $h_K > h_L > h_M$
B) $h_K > h_M > h_L$
C) $h_L > h_M = h_K$
D) $h_L = h_K > h_M$
E) $h_L > h_M > h_K$

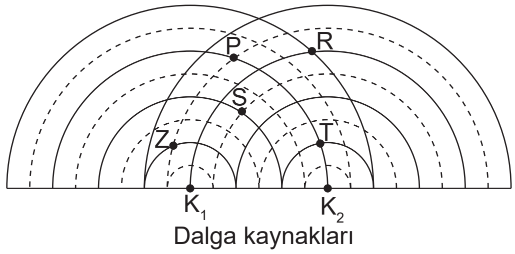
19. Aynı anda titreşen özdeş K_1 ve K_2 noktasal dalga kaynaklarının oluşturduğu girişim deseni şekildeki gibidir.



Buna göre P, R, S, T ve Z noktalarından hangisi maksimum genlikte titreşir?

A) P B) R C) S D) T E) Z

20. Aynı anda çalışan özdeş K_1 ve K_2 noktasal kaynaklarının oluşturduğu girişim deseni şekildeki gibidir.



Sürekli çizgiler dalga tepelerini, kesikli çizgiler dalga çukurlarını gösterdiğine göre P, R, S, T ve Z noktalarından hangileri çift tepe noktasıdır?

A) P ve R B) P ve S C) Z ve T
D) R ve T E) Z ve S

21. Derinliği sabit bir dalga leğeninde özdeş K_1 ve K_2 noktasal dalga kaynaklar aynı anda çalıştırılıyor. Kaynakların ürettikleri dalgalar birbiri içerisinden geçerken leğenin altındaki perdede girişim çizgisi oluşmadığı görülüyor.

Buna göre girişim çizgilerinin oluşması için

I. Kaynaklar arası uzaklığı azaltmak
II. Kaynakların frekansını azaltmak
III. Leğenden bir miktar su almak

işlemlerinden hangileri yapılabilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

22. Çift yarıkta yapılan bir girişim deseninde ışık kaynağı yarıklar düzlemine yaklaştırılırsa

I. Oluşan aydınlık ve karanlık saçak sayısı artar.
II. Merkezî aydınlık saçak genişliği artar.
III. Merkezî aydınlık saçak parlaklığı artar.

ifadelerinden hangileri doğru olur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

23. **Hava ortamında yapılan ışığın tek yarıkta kırınımı deneyinde merkezî aydınlık saçağın yeri değiştirilmeden saçak genişliğini azaltmak için**

I. Ortamın kırıcılık indisini artırmak

II. Yarık genişliğini azaltmak

III. Ekran ile yarık düzlemi arasındaki uzaklığı artırmak

işlemlerinden hangileri tek başına yapılabilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

24. **Tek renkli ışık kullanılarak yapılan çift yarıkta girişim deneyinde kırmızı ışık kullanılarak elde edilen merkezî aydınlık saçak için**

I. Yeşil ışık kullanılırsa genişliği artar.

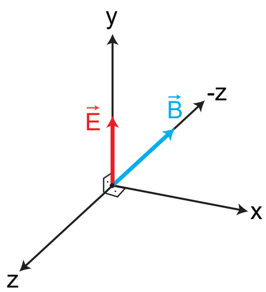
II. Perde yarık düzlemine yaklaştırılırsa genişliği azalır.

III. Mor ışık kullanılırsa genişliği azalır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

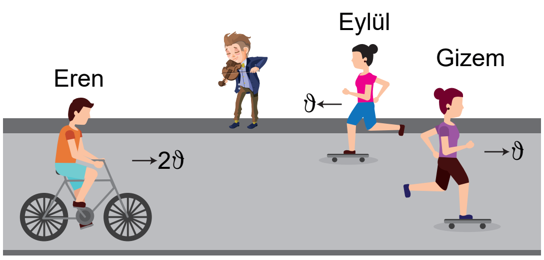
25. Bir elektromanyetik dalga için elektrik ve manyetik alanın yönleri gösterilmiştir.



Buna göre elektromanyetik dalga hangi yönde ilerlemektedir?

A) +x B) +y C) -x D) +z E) -y

26. Yol kenarında durarak keman çalan müzisyene Eren 2ϑ, Eylül ϑ büyüklüğünde hızla yaklaşırken Gizem ϑ büyüklüğünde hızla müzisyenden uzaklaşmaktadır.



Kemandan çıkan sesin frekansını Eren, Eylül ve Gizem sırasıyla f_1, f_2 ve f_3 olarak işittiğine göre f_1, f_2 ve f_3 arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

A) $f_1 > f_2 > f_3$ B) $f_3 > f_1 > f_2$ C) $f_2 > f_3 = f_1$ D) $f_2 = f_3 > f_1$ E) $f_1 > f_3 > f_2$

27. **Aşağıdakilerden hangisi elektromanyetik dalgaların ortak özelliği <u>değildir</u>?**

A) Yüklü parçacıkların ivmeli hareketiyle oluşur.

B) İlerleyebilmeleri için maddesel ortam gerekir.

C) Enine dalgadır.

D) Elektrik ve manyetik alanda sapmaz.

E) Boşlukta ışık hızı ile yayılır.

28. **Bir elektromanyetik dalgayla ilgili**

I. Boyuna dalgadır.

II. Elektrik alanda sapmaz.

III. Enerji taşır.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

29. **Aşağıdaki cihazların hangisinde elektromanyetik dalga kullanılmaz?**

A) Ultrason cihazı

B) Mikrodalga fırın

C) X-ray cihazı

D) Televizyon

E) Trafik radarı

30. Trafikteki araçların hızını tespit etmek için radar cihazından otomobillere elektromanyetik dalgalar gönderilir.

Radara yaklaşmakta olan otomobilden yansıyıp radar cihazına gelen elektromanyetik dalgaların frekansındaki değişim için

I. Otomobilin hızına göre değişir.

II. Kaynaktan çıkan dalga frekansına göre büyüktür.

III. Kaynaktan çıkan dalgaların frekansına göre küçüktür.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

31. Elektromanyetik dalgalar, dalga boyuna göre sıralanarak elektromanyetik dalga spektrumu oluşturulmuştur.

Buna göre verilen dalga çeşitlerinden hangisi elektromanyetik dalga spektrumunda yer almaz?

A) Ses dalgaları

B) Radyo dalgaları

C) Mikrodalgalar

D) Morötesi ışınlar

E) X-ışınları

32. Bir radar f = $1,5 \cdot 10^{10}$ s^{-1} frekanslı elektromanyetik dalgalar yayıyor.

Buna göre radardan yayılan dalgaların dalga boyu kaç m'dir?
(Işık hızı c = $3 \cdot 10^8$ m/s)

A) $2 \cdot 10^{-1}$ B) $1,5 \cdot 10^{-2}$ C) $2 \cdot 10^{-2}$ D) $3 \cdot 10^{-2}$ E) $4 \cdot 10^{-2}$

33. I. Çift yarıkta yapılan girişim deneyinde ekran üzerinde aydınlık ve karanlık saçakların oluşması

II. Tek yarıkta yapılan kırınım deneyinde ekran üzerinde aydınlık ve karanlık saçakların oluşması

III. Çift yarıkta yapılan girişim deneyinde oluşan merkezî aydınlık saçağın tek yarıkta yapılan kırınım deneyinde oluşan merkezî aydınlık saçaktan daha küçük olması

Yukarıdaki ifadelerden hangileri ışığın dalga özelliği gösterdiğinin bir kanıtıdır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I ve III

34. I. Elektromanyetik dalgalar içinde dalga boyu en kısa olanıdır.

II. Radyoaktif çekirdeklerin tepkimelerinde oluşur.

III. Canlı hücrelere zarar verir.

Yukarıda bazı özellikleri verilen elektromanyetik dalga çeşidi aşağıdakilerden hangisidir?

A) Mikrodalgalar

B) γ ışınları

C) Kızılötesi ışınlar

D) Morötesi ışınlar

E) X-ışınları

35. **Işığın çift yarıkla yapılan girişim deneyinde oluşan merkezî aydınlık saçağın genişliğini artırmak için**

I. Yarıklar düzlemiyle ekran arasına kırılma indisi havanınkinden daha büyük olan saydam bir madde koymak

II. Ekranı yarıklar düzleminden uzaklaştırmak

III. Kullanılan ışığın dalga boyunu artırmak

ifadelerinden hangileri yapılmalıdır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) II ve III E) I ve III

36. **Doppler olayı ile ilgili**

I. Kaynağın veya gözlemcinin hareketli olmasıyla gözlemlenebilir.

II. Trafik radarlarından araçların hızının tespitinde Doppler olayından yararlanılır.

III. Tıpta görüntüleme tekniklerinde ultrason cihazında Doppler olayından yararlanılır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

37. **Işığın tek yarıkta yapılan kırınım deneyinde gelen ışığın dalga boyu aynı kalmak şartı ile**

I. Yarık düzlemi ile ekran arası uzaklığı arttırmak

II. Yarık genişliğini artırmak

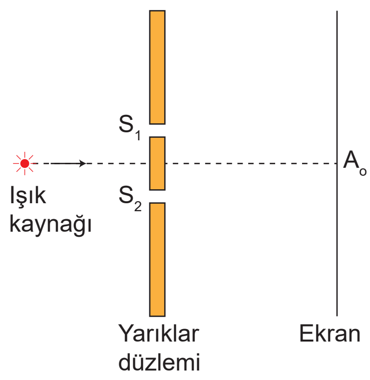
III. Işık kaynağını yarık düzlemine yaklaştırmak

işlemlerinden hangileri tek başına yapılırsa perde üzerinde oluşan saçak sayısı artar?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

D) Aşağıdaki açık uçlu soruların cevabını boş bırakılan alana yazınız.

38. Işığın çift yarıkta girişimi deneyinde S_1 ve S_2 yarıkları arasındaki parça çıkartılıyor.



Ekran üzerinde oluşan girişim desenleri arasındaki farkı açıklayınız.

Çözüm

39. I. Elektrik ve manyetik alan dalgaları eş zamanlı değişir.

II. Enine dalgalardır.

III. Yüklü parçacıkların sabit hızlı hareket etmesi sonucu oluşur.

IV. Yayılabilmeleri için maddesel ortam gerekir.

V. Polarize edilebilir.

Hangileri elektromanyetik dalgaların ortak özelliği <u>değildir</u>?

Çözüm

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

40. Elektromanyetik dalga çeşitlerinden mikrodalgaların dalga boyu λ_1, görünür bölgenin dalga boyu λ_2, morötesi bölgenin dalga boyu λ_3 tür.

Buna göre dalga boylarının büyüklükleri λ_1, λ_2 ve λ_3 arasındaki ilişki nedir?

Çözüm

41. **Hava ortamında yapılan çift yarıkta girişim deneyinde**

I. Işık kaynağının şiddeti artırılırsa

II. Ekran yarık düzlemine yaklaştırılırsa

ekranda oluşan girişim deseninde meydana gelen değişiklikler nelerdir?

Çözüm

42. Işık, ses ve su dalgalarında gözlenen frekanslar kaynak ve gözlemci hareketine bağlı olarak değişir. Gözlenen frekanstaki bu değişim Doppler olayı olarak adlandırılır.

Buna göre

I. Kaynak ve gözlemci aynı yönde ve aynı büyüklükte hızla hareket ediyorsa

II. Kaynak ve gözlemci zıt yönde ve aynı büyüklükte hızla hareket ediyorsa

III. Kaynak durgun gözlemciden uzaklaşıyorsa

hangilerinde Doppler olayı gerçekleşir?

Çözüm

43. Bir dalga leğeninde aynı anda titreşen özdeş noktasal iki dalga kaynağının oluşturduğu girişim deseninde n tane düğüm çizgisi oluşmaktadır.

Buna göre

I. Dalga leğenindeki su miktarını azaltmak

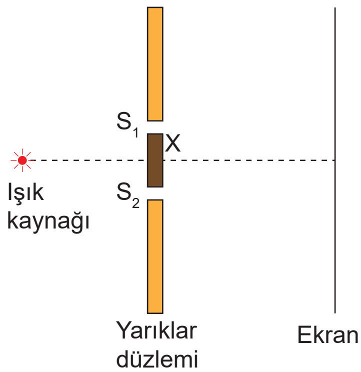
II. Kaynaklarının frekanslarını arttırmak

III. Kaynakları birbirinden uzaklaştırmak

işlemlerinden hangileri tek başına yapılırsa n artar?

Çözüm

44. Çift yarıkta yapılan girişim deneyinde ekran üzerinde oluşan girişim deseninde n tane aydınlık saçak oluşuyor.



Buna göre

I. Kaynağın ışık şiddetini arttırmak

II. Yarıklar düzlemiyle ekran arasına kırıcılık indisi havanınkinden daha büyük olan saydam bir madde koymak

III. Saydam olmayan X parçasını çıkarmak

işlemlerinden hangileri tek başına yapılırsa n artar?

Çözüm

4. ÜNİTE

ATOM FİZİĞİNE GİRİŞ VE RADYOAKTİVİTE



Bu ünitede atom kavramının tarihsel gelişimi üzerinden atom kavramı açıklanıp atomun uyarılma yolları ve modern atom teorisinin önemi vurgulanacaktır.

Büyük patlama teorisi ve atom altı parçacıklarının özellikleri temel düzeyde açıklanıp maddenin oluşum süreci ile madde ve antimadde kavramları üzerinde durulacaktır.

Kararlı ve kararsız durumdaki atomların özellikleri karşılaştırılacak, radyoaktif bozunma sonucu atomun kütle numarası, atom numarası ve enerjisindeki değişimin nasıl olduğu açıklanacaktır. Nükleer fisyon ve füzyon olayları ile radyasyonun canlılar üzerindeki etkileri hakkında bilgi verilecektir.

1. BÖLÜM: ATOM KAVRAMININ TARİHSEL GELİŞİMİ

2. BÖLÜM: BÜYÜK PATLAMA VE EVRENİN OLUŞUMU

3. BÖLÜM: RADYOAKTİVİTE

1. BÖLÜM

ATOM KAVRAMININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Konular

4.1.1. Atom Kavramı

4.1.2. Atomun Uyarılması

4.1.3. Modern Atom Teorisi

Anahtar Kavramlar

- Atom
- Bohr atom teorisi
- Enerji seviyesi
- Uyarılma
- İyonlaşma
- Işıma

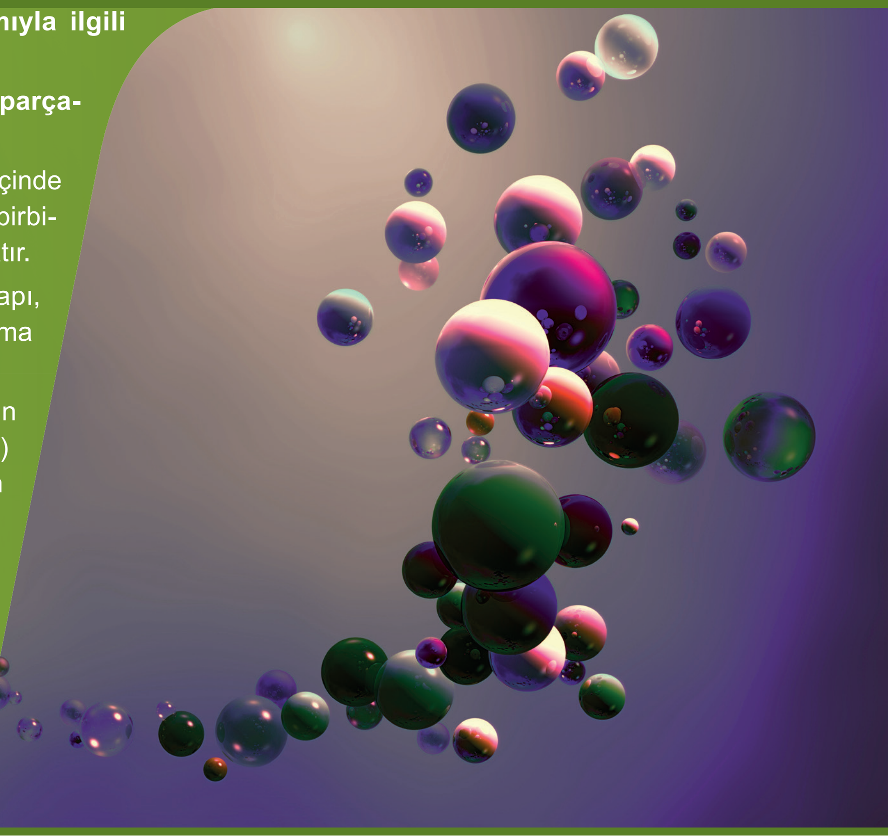
- **Geçmişten günümüze atom kavramıyla ilgili düşünceler nasıl değişmiştir?**
- **Atomun çekirdeğini oluşturan temel parçacıklar proton ve nötronlar mıdır?**

Bu bölümde atomun tarihsel gelişim süreci içinde atom teorilerine yer verilerek bu teorilerin birbiriyle ilişkili olarak geliştirildiği vurgulanacaktır.

Bohr (Bohr) atom teorisinde atom yarıçapı, enerji seviyeleri, uyarılma, iyonlaşma ve ışıma kavramları vurgulanacaktır.

Milikan'ın (Milikan) yağ damlası, Thomson'ın (Tamsın) e/m tayini, Rutherford (Ruterford) saçılması deneylerine değinilecek; atomların birbiriyle, elektron, foton ve ısıyla uyarılma şartlarının tartışılması sağlanacaktır.

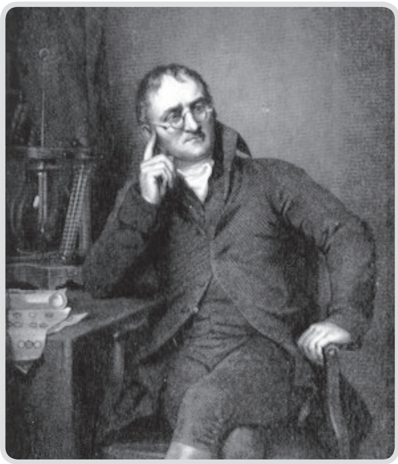
Heisenberg (Hayzınbörg) Belirsizlik İlkesi, kuantum sayıları, olasılık dalgası ve Schrödinger (Şördinger) dalga denklemleri ile Feza Gürsey, Asım Orhan Barut ve Behram N. Kurşunoğlu'nun atom fiziği konusunda yaptığı çalışmalara değinilecektir.



4.1.1. Atom Kavramı

Bir maddenin tüm özelliklerini taşıyan en küçük yapıya **atom** denir. Bilim insanları atomun yapısı ile ilgili çalışmalara her zaman önem vermiş, eski çağlardan bugüne kadar maddenin yapısı hep merak konusu olmuştur.

Miletli Tales (Miletli Tales, MÖ 624-547) dünyanın özünün su olduğunu söylemiş, Anaxagoras (Anaksigoras, MÖ 500-428) ise maddedeki değişikliklerin maddeyi oluşturan 'bölünmez parçacık'ların farklı biçimlerde düzenlenmesinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Empedokles (Empedokles, MÖ 484-424) maddeyi oluşturan bu bölünmez parçacıkları toprak, hava, ateş ve su olmak üzere dört element altında toplamıştır. Democritus (Demikrotus, MÖ 460-370), maddeleri, bölünemez veya kesilemez anlamına gelen "atomos" olarak adlandırmış ve maddelerin bölünemez taneciklerden oluştuğunu ifade etmiştir. Democritus atom denilen bu bölünemez parçacıkların şekil, konum ve düzenleniş bakımından birbirinden farklı olduğunu her türlü maddenin temel yapıtaşlarını oluşturduğunu belirtmiştir. Aristo (Aristo, MÖ 384-322), toprak, hava, ateş ve sudan oluşan dört element görüşünü onaylamıştır. Aristo'nun görüşleri yüzyıllar boyunca düşünce dünyasını etkisi altına almış ve sarsılması güç bir otorite hâline gelmiştir. Atomun varlığına dair ilk ciddi deneysel deliller 19. yüzyılın başında John Dalton (Con Dalton) tarafından ortaya konulmuştur. Bugüne kadar ortaya atılan atom teorileri birbiriyle ilişkili olarak geliştirilmiştir. Ortaya atılan bir teori, bir önceki teorinin eksikliklerini gidermeye çalışmıştır.



Görsel 4.1: *John Dalton (Temsili resmi)*

Dalton Atom Modeli

John Dalton (Jon Daltın, 1766-1844) (Görsel 4.1), kimyasal bileşiklerin temeli olan katlı oranlar yasası ve kütlenin korunumu yasasından yararlanarak geliştirdiği atom kuramına göre

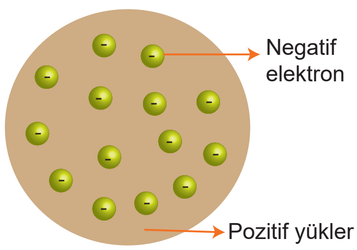
- Her element atom adı verilen çok küçük ve bölünemeyen taneciklerden oluşmuştur. Atomlar, içleri dolu ve sert taneciklerdir.
- Kimyasal tepkimelerde atomlar bölünemez ve yeniden oluşturulamaz.

Dalton'un ortaya attığı bu model, atomun iç yapısını açıklayamamasına rağmen bundan sonraki modellerin gelişmesinde önemli rol oynamıştır.

Thomson Atom Modeli

George Johnstone Stoney'in (Corç Jonston Stoney) elektronu keşfinden sonra 1897 yılında J. J. Thomson, bir katot ışını tüpü kullanarak ürettiği ışınlara elektrik ve manyetik alanların uyguladığı kuvvetlerden hareketle katot ışınları için elektron yükünün kütlesine oranını $\frac{e}{m} = 1{,}7588 \cdot 10^{11}$ C/kg oranını hesaplamıştır.

Thomson bu sonuçlardan hareketle üzümlü keke benzetilen ve üzümlü kek modeli olarak da bilinen yeni bir atom modeli geliştirmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: *J. J. Thomson üzümlü kek modeli*

Thomson'ın modeline göre atomlar

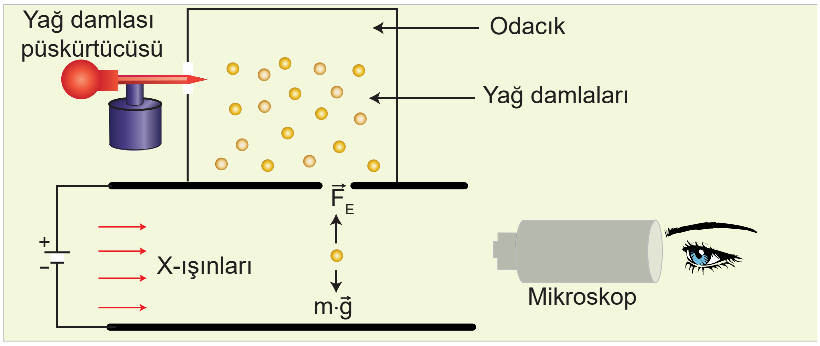
- Çapı yaklaşık 10^{-10} m mertebesinde olan küre şeklindedir. Pozitif yüklü madde ile tam doludur. Negatif yüklü elektronlar, atomu nötr tutacak şekilde küre içinde homojen bir şekilde hareketsiz ve gömülü olarak bulunur.

Milikan'ın Yağ Damlası Deneyi



Görsel 4.2: *Robert Andrews Milikan (1868-1953)*

Thomson'un $\frac{e}{m}$ oranı tayininden sonra Robert Andrews Milikan (Rabırt Andrev Milikan) (Görsel 4.2), yer çekiminin etkisinde ve düzgün bir elektrik alan içerisinde bulunan yüklü bir yağ damlasının hareketini inceleyerek elektronun yükünü ölçmek için Şekil 4.2'deki deney düzeneğini hazırlamıştır.



Şekil 4.2: *Millikan'ın yağ damlası deneyi*

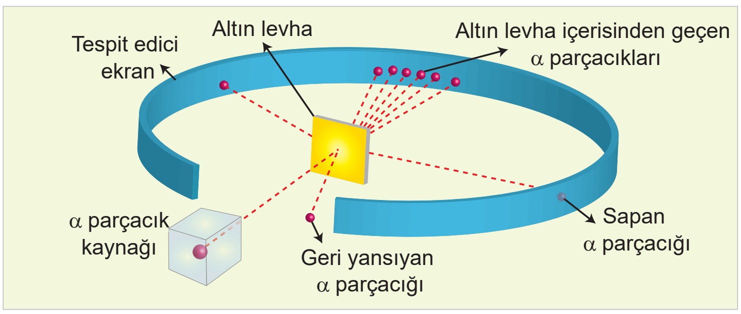
Yüklü yağ damlacıklarına etkiyen elektriksel kuvvet ($\vec{F}_E$) ile ağırlığını ($m \cdot \vec{g}$) dengelemek suretiyle yaptığı "Yağ damlası" deneyleri sonucunda elektronun yükünü ölçmüş, pozitif ya da negatif yüklü tüm maddelerin yüklerinin, elektronun yükünün tam katları olduğunu göstermiştir. Thomson'un bulduğu $\frac{e}{m}$ oranı kullanılarak bir elektronun kütlesini de hesaplamıştır.

İzleyerek Öğreniniz

Thomson ve Rutherford atom modellerini izlemek için karekoddan yararlanınız.

Rutherford Atom Modeli

1909 yılında Hans Geiger (Hans Giger) ve Ernest Marsden (Örnıs Marsden) Rutherford'un önerdiği atomun yapısını incelemeye başlamışlardır. 1911 yılında altın levha içinden geçirilen alfa parçacıklarının büyük çoğunluğunun hiçbir sapmaya uğramadığını, çok küçük bir miktarının saptığını veya saçıldığını, bazılarının ise geri döndüğünü gözlemlemişlerdir (Şekil 4.3). Rutherford bu verilerden hareketle atomun iç yapısında büyük miktarda boş alan bulunduğu bu alanın merkezinde ise artı yük taşıyan oldukça ağır fakat küçük bir çekirdeğin olduğu sonucuna varmıştır.

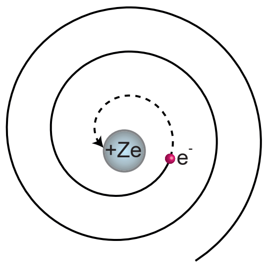


Şekil 4.3: *Rutherford saçılma deneyi*

Rutherford atom modeline göre

- Bir atomun kütlesinin çok büyük bir kısmı pozitif yüklüdür. Bu yüklerin tamamı çekirdek olarak tanımlanan çok küçük bir bölgede yoğunlaşır.
- Atom elektrik yükü bakımından nötrdür.
- Çekirdek etrafında büyük boşluklar vardır.
- Elektronlar, çekirdek çevresindeki boşluklarda bulunur.

Rutherford atom modeli, bir atomun çekirdeğinin çevresinde elektronların nasıl yerleştiğini açıklayamaz. Oysa bir atomdaki elektronlar, tıpkı bir gezegenin Güneş etrafındaki yörüngesel hareketi gibi hareket hâlindedir. Elektronlar, Güneş sistemine benzer bir şekilde çekirdeğin etrafında dairesel hareket yaptığında merkezcil bir ivmenin etkisinde kalır. İvmeli hareket yapan elektronlar ışıma yapacağından enerjileri azalır ve elektronların spiral bir yörünge çizerek çekirdeğe düşmesi beklenir (Şekil 4.4). Elektronların çekirdeğe düşmemesinin sebeplerini açıklayamaması Rutherford atom modelinin en önemli eksikliklerinden biridir. Ayrıca Rutherford modeli, nötronlardan bahsetmediği için de eksik kalmıştır.



Şekil 4.4: *Çekirdekli atomun klasik modeli*

Bohr Atom Teorisi

1913 yılında Danimarkalı Fizikçi Niels Bohr (Nils Bohr), Planck'ın kuantumlu enerji düzeyleri düşüncesini ve Rutherford'un bulgularını bir araya getirip yeni bir model önermiştir. Bu modele göre elektronlar çekirdek çevresinde dairesel yörüngelerde dolanmaktadır. Bohr, atom yörüngelerinde dolaşan elektronların Rutherford modelinde önerildiği gibi sürekli enerji değerlerinden herhangi birine sahip olmadığını, çekirdekten belirli uzaklıklarda bulunabileceklerini ve belirli enerjilere sahip olabileceğini öne sürmüştür.

Bohr, tek elektronlu en basit atomik yapıya sahip hidrojen atomuyla yaptığı çalışmalar sonucunda ortaya koymuş olduğu modeli üç varsayımla ifade etmiştir.

1. Varsayım

Elektronlar, pozitif yüklü çekirdeğin çevresinde Coulomb Kuvveti etkisiyle ışıma yapmadan kararlı yörüngelerde dolanır.

2. Varsayım

Çekirdeğin çevresinde kararlı yörüngelerde dolanan elektronların açısal momentumu $\frac{h}{2\pi}$ nin tam katlarıdır.

n. yörüngede dolanan bir elektronun açısal momentumu

$$L = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$ ifadesiyle bulunur.

h : Planck sabiti

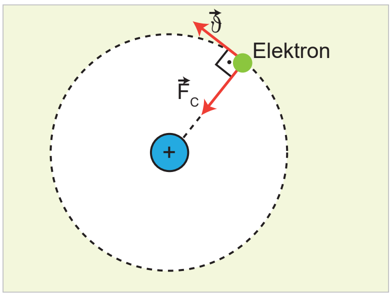
L : Açısal momentum

n : Elektronun yörünge numarası

Simülasyon

Hidrojen atom modelini incelemek için karekoddan yararlanınız.

Bir atomun çekirdeğinden belirli uzaklıklarda elektronların bulunabileceği dairesel yörüngelere **enerji seviyesi** denir. Enerji seviyesi n ile gösterilir. 1, 2, 3, 4 ... gibi tam sayı değerleri alır.



Şekil 4.5: *Elektrona etki eden merkezcil kuvvet*

Elektronların kararlı yörüngelerde dolanımını sağlayan Coulomb Kuvveti, elektrona etki eden merkezcil kuvvettir (Şekil 4.5).

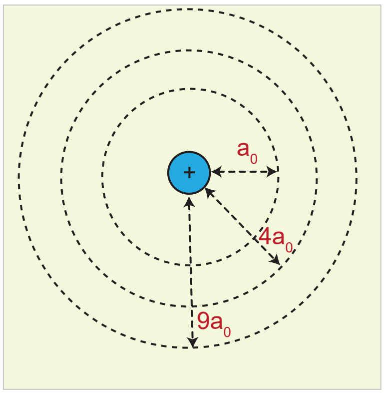
$\vec{F}_{Merkezcil} = \vec{F}_{Coulomb}$ eşitliğinden n. yörüngede dolanan elektronun yörünge yarıçapını veren

$r_n = a_0 \frac{n^2}{Z}$ bağıntısı elde edilir.

Z : Atom numarası

a_0 : 0,529 Å olan Bohr yarıçapı

n pozitif tam sayılar olduğu için yarıçap her değeri alamaz. Bu durum elektronların yörünge yarıçaplarının belirli değerler alabileceğini gösterir. Yani elektronun yörünge yarıçapları kesikli (kuantumlu) değerler alır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6: *Elektronların bulunabileceği yörünge yarıçapları*

Çekirdeğin çevresinde kararlı yörüngelerde dolanan elektronların sahip olduğu kinetik enerji ve potansiyel enerjinin toplamına **elektronun toplam enerjisi** denir. Çekirdek çevresinde dolanan elektronların toplam enerjileri de yörünge yarıçapları gibi kesikli başka bir ifadeyle belirli değerler alabilir.

n. yörüngede dolanan elektronun toplam enerjisi

$E_n = -R \cdot \frac{Z^2}{n^2}$ ifadesiyle bulunur.

Bağıntıdaki "R" Rydberg (Reybörk) sabiti olarak tanımlanır. Büyüklüğü 13,6 eV tur (Elektron Volt). Elektronun herhangi bir yörünge üzerinde sahip olduğu toplam enerjinin birimi de eV tur.

3. Varsayım

Elektron kararlı yörüngelerden birinde bulunurken atomdan foton yayılmaz. Elektronlar, enerjisi yüksek olan bir enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçtiğinde seviyeler arasındaki enerji farkına eşit enerjiye sahip foton yayar.

Yayılan fotonun enerjisi $E_{Foton} = E_{İlk} - E_{Son}$ ifadesiyle bulunur.

Bir fotonun enerjisi frekansı ile doğru orantılı ya da dalga boyuyla ters orantılıdır. Bu nedenle $E_{İlk} - E_{Son} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ olur.

h : Planck sabiti

f : Yayımlanan enerjinin frekansı

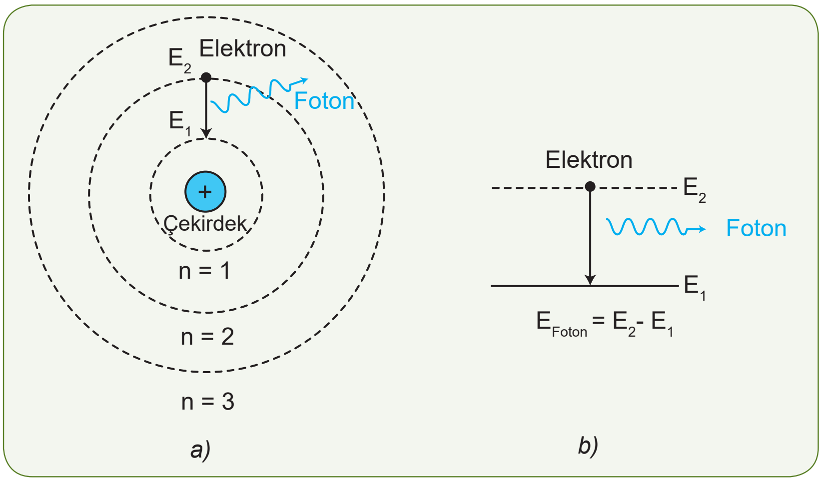
$h \cdot f$: Fotonun enerjisini ifade eder.

Elektronun enerjisi en düşük olan enerji seviyesinde (n = 1) kararlı olarak bulunduğu yörüngeye **temel hâl** denir.

Elektrona yeterli enerji verildiğinde elektronun bulunduğu enerji seviyesinden daha yüksek enerji seviyesine çıkması olayına **uyarılma** denir

Elektronun atomdan koparılarak serbest kalması olayına **iyonlaşma**, iyonlaşmanın gerçekleşmesi için gerekli enerjiye de **iyonlaşma enerjisi** denir.

Kararlı yörüngede dolanan elektrona enerji verilirse elektron bulunduğu enerji seviyesinden daha yüksek enerji seviyesine sıçrar. Böylece atom uyarılmış olur. Kararsız hâle gelen atomun kararlı hâle dönebilmesi için yüksek enerji seviyesine çıkan elektronu tekrar eski enerji seviyesine dönmesi gerekir. (Şekil 4.7: a). Bu dönüş sırasında almış olduğu enerjiyi foton olarak etrafa yayar (Şekil 4.7: b). Bu olaya **ışıma** ya da **emisyon** denir.



Şekil 4.7: *a) Elektronun bir üst enerji seviyesinden alt enerji seviyesine geçişi b) Bu geçiş sırasında etrafa yayılan foton*

Herhangi bir kararlı yörüngede dolanan elektronların sahip olması gereken toplam enerjiden yola çıkılarak atomun enerji seviyeleri elde edilebilir.

Atom numarası Z = 1 olan hidrojen atomu enerji seviyeleri

$E_n = -R \cdot \frac{Z^2}{n^2}$ den

n = 1 olduğunda E_1 = -13,6 eV (Temel hâl)

n = 2 olduğunda E_2 = -3,40 eV

n = 3 olduğunda E_3 = -1,50 eV

n = 4 olduğunda E_4 = -0,8 eV

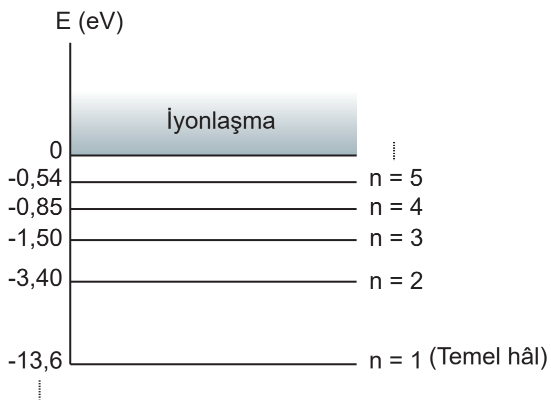
n = 5 olduğunda E_5 = -0,54 eV

. .
. .
. .

n = ∞ olduğunda E_∞ = 0 olur.

Elektronun toplam enerjisi 0 olduğundan elektron atomdan koparılabilir.

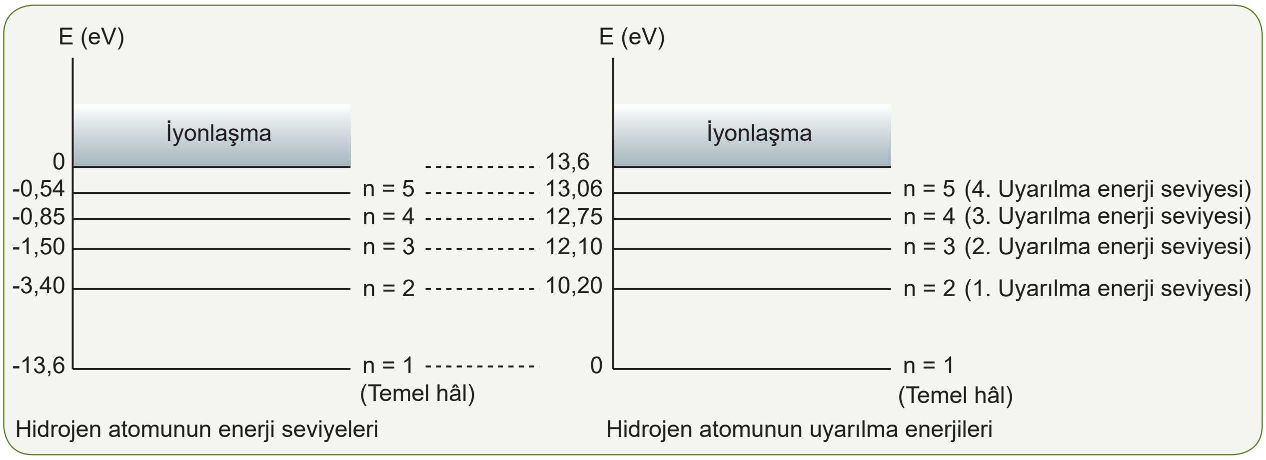
Bulunan bu değerler kullanılarak atomun iç enerji seviyeleri diyagramı elde edilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: *Hidrojen atomunun enerji seviyeleri*

Temel hâl (n = 1) düzeyindeki elektronun n = 2, 3, 4 ... gibi üst yörüngelere çıkması için atoma dışarıdan verilmesi gereken enerjiye **uyarılma enerjisi** denir.

Atomun iç enerji diyagramından yola çıkılarak atomun uyarılması için gerekli enerjiler ve bu enerjileri gösteren diyagram elde edilebilir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: *Hidrojen atomunun enerji seviyeleri ile uyarılma enerjileri*

Temel hâlde bulunan bir elektronun, bir uyarılma seviyesine çıkabilmesi için dışarıdan enerji alması gerekir. Elektronun alması gereken enerji, bulunan ilk seviye ile çıkılan son seviyenin enerjilerinin farkına eşit olmalıdır. Bu enerji $\Delta E = E_{Son} - E_{İlk}$ bağıntısıyla bulunur. Hidrojen atomunun uyarılma enerjileri Şekil 4.9'daki gibidir.

Sıra Sizde - 1

I. Atomun boşluklu yapıda olduğunu ilk kez Rutherford söylemiştir.

II. Elektronların ışıma yapmadan çekirdek etrafında çekirdeğe düşmeden dolanmasını Bohr açıklayabilmiştir.

III. Thomson'a göre atom, çekirdeğin içinde yer alan proton ve nötrondan, çekirdeğin çevresindeki yörüngelerde dolanan elektronlardan oluşmuştur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

Sıra Sizde - 2

Bohr Atom Teorisine göre

I. Elektronlar çekirdek etrafında ışıma yapmadan dolanmaktadır.

II. Elektronlar çekirdeğin çevresinde herhangi bir uzaklıktaki yörüngelerde dolanabilir.

III. Çekirdek etrafında dolanan elektronlar belirli enerji değerlerine sahiptir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

4.1.2. Atomun Uyarılması

Kararlı bir yörüngede dolanan elektronun yüksek enerji seviyelerine uyarılması, atomların birbiriyle çarpıştırılması, elektron, foton ya da ısıyla sağlanabilir.

1. Atomların Birbiriyle Çarpıştırılarak Uyarılması

Atomlar yüksek basınç ve sıcaklık altında birbirleriyle çarpıştırılarak uyarılabilir. Çarpışma sırasında değişik enerji seviyelerine uyarılan atomların elektronları, foton yayınlayarak tekrar temel hâle geri gelir.

Araştırınız

Atom kavramının tarihsel gelişiminde Bohr atom modelinin önemini araştırınız. Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.

2. Atomun Elektronla Uyarılması

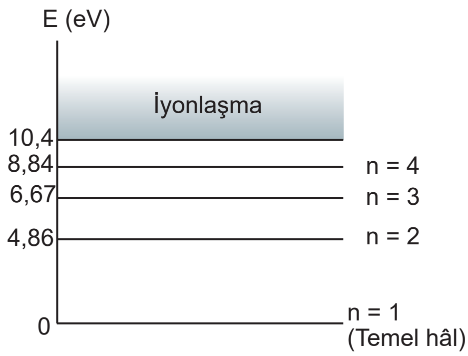
Bir atomun elektronla uyarılabilmesi için gönderilen elektronun kinetik enerjisinin en az 1. uyarılma seviyesinin (n = 2) enerjisine eşit veya bu seviyenin enerjisinden büyük olmalıdır. Gönderilen elektronun kinetik enerjisi 1. uyarılma enerji seviyesinin enerjisinden küçükse atomla esnek çarpışma yapar ve atomu uyaramaz.

Yeterince kinetik enerjiye sahip bir elektron birden fazla atomu aynı enerji seviyesinden ya da farklı enerji seviyelerinden uyarabileceği gibi herhangi bir çarpışma yapmadan ya da esnek çarpışmalar yaparak atomları uyarmadan ortamdan ayrılabilir.

Elektronun kinetik enerjisi, atomun iyonlaşma enerjisine eşit ya da iyonlaşma enerjisinden büyükse elektron, atomu uyarabilir, iyonlaştırabilir ya da esnek çarpışma yaparak geldiği enerjiyle atomdan ayrılabilir. Uyarılan atomun elektronu foton yayınlayarak tekrar temel hâle geri döner.

Sıra Sizde - 3

Enerji diyagramı verilen cıva atomu buharına 10 eV enerjili elektronlar gönderiliyor.



Elektronlar atomdan hangi kinetik enerjilerle ayrılabilir?

Çözüm

3. Atomların Fotonlarla Uyarılması

Bir fotonun temel hâlde bulunan bir elektronunun üst enerji seviyelerinden birine uyarılabilmesi için enerjisinin uyarılacak seviyenin enerjisine eşit olmalıdır. Enerji, seviyelerden birinin enerjisine eşit olmayan foton, atom ile etkileşmez. İyonlaşma enerjisine eşit veya iyonlaşma enerjisinden büyük enerjiye sahip foton, atomdan elektron kopararak atomun iyonlaşmasına neden olur. Atomların foton ile uyarılmasında foton soğurulur ve temel hâldeki elektron, fotonun enerjisinin eşit olduğu seviyeye çıkar. Üst enerji seviyelerine çıkan elektron, foton yayınlayarak temel hâle geri döner.

4. Atomların Isıyla Uyarılması

Temel hâlde bulunan atomların sıcaklıkları artırıldığında alınan enerjiye karşılık elektronlar üst enerji seviyelerine çıkar. Üst enerji seviyelerine çıkan elektronlar, foton yayınlayarak temel hâle geri döner. Atoma verilen ısı enerjisi miktarına göre temel hâlde bulunan elektronun çıkabileceği üst enerji seviyesi farklılaşır. Bu durumda temel hâle dönerken yayılan fotonların enerjisi yani frekanslarında da farklılaşma olur.

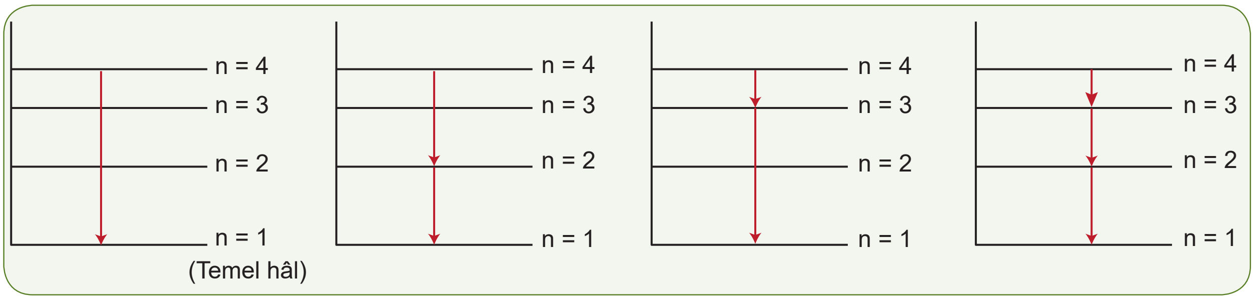
Bir metalin sıcaklığı artırılırken, görünür bölgeden ışıma yapmaya başladığında yayılan ışığın rengi kırmızıdır. Sıcaklık arttıkça farklı seviyelerden de ışıma gözlenebildiği için yayılan fotonların frekansı artar ve ışığın rengi sarı ve maviye doğru kayar.

Sıra Sizde - 4

Bir atomun fotonla veya elektronla uyarılma yolları arasındaki farklar nelerdir? Arkadaşlarınızla tartışınız.

Çözüm

Uyarılmış atomun enerjisi kararsızdır. Alınan enerjiyi, ortalama 10^{-8} s'de foton olarak yayınlanıp (ışıma yapılıp) tekrar temel hâle döner. Üst enerji seviyesinde bulunan elektron temel hâle dönerken ya doğrudan ya da kısa geçişler yapar (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: *Elektronun temel hâle farklı geçişleri*

Elektronun temel hâle dönüşü sırasında yayınladığı fotonun enerjisi, bulunduğu ilk seviyenin enerjisi ($E_{İlk}$) ile geldiği son seviyenin enerjisi (E_{Son}) arasındaki farka eşittir. Bu durum

$E_{Foton} = E_{İlk} - E_{Son}$ şeklinde ifade edilir.

Yayılan fotonun enerjisinin frekansı ile doğru orantılıdır. Bu durumda

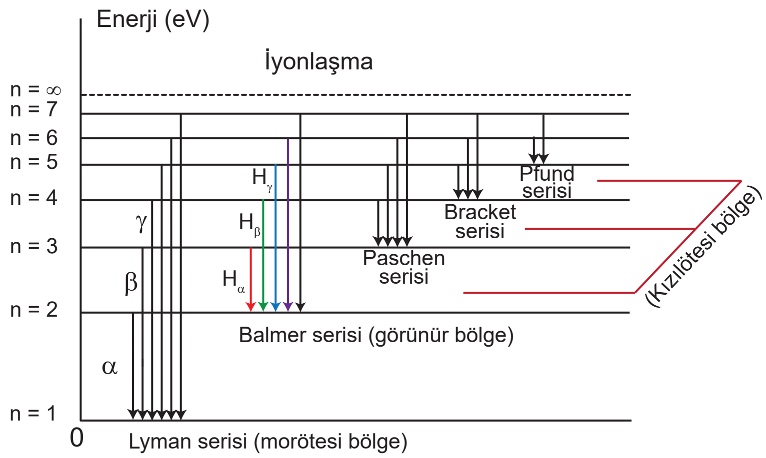
$E_{Foton} = E_{İlk} - E_{Son} = h \cdot f$ ifadesiyle yayılan fotonun frekansı bulunabilir.

Uyarılmış bir atomda elektron temel hâle dönerken

$\frac{n \cdot (n-1)}{2}$ tane farklı ışıma yapabilir.

Denklemde yer alan n ifadesi uyarılmış elektronun uyarıldığı enerji düzeyini belirtir.

Uyarılmış bir hidrojen atomunda elektron temel hâle dönerken yapabileceği ışımalar seriler hâlinde gruplandırılır. Oluşturulan serilerin isimleri, bu çizgileri ilk araştıran bilim insanlarının isimlerine atfen verilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: *Uyarılmış bir hidrojen atomunda elektronların temel hâle dönerken oluşturduğu seriler*

Uyarıldığı seviyeden bir elektron n = 1 seviyesine iniyorsa yapılan ışıma Lyman serisinde olur. Lyman serisinde yapılan fotonların enerjileri büyük olduğundan elektromanyetik dalga spektrumunun morötesi bölgesine karşılık gelir.

Uyarılmış atomdaki elektronun uyarıldığı seviyeden n = 2 enerji seviyesine yapılan geçişler Balmer serisini oluşturur. Bu seride yayınlanan fotonlar görünür ışık bölgesindedir.

Geçiş yapılan son enerji seviyesi n = 3 olan ışımalar Paschen serisi, son enerji seviyesi n = 4 olan ışımalar Bracket serisi ve son enerji seviyesi n = 5 olan ışımalar Pfund serisi olarak adlandırılır. Bu üç seride de yapılan ışımalar elektromanyetik dalga spektrumunda kızılötesi bölgeye karşılık gelir. Yapılan ışımaların sembolleri Şekil 4.12'de verilmiştir.

Bohr Atom Modelinin Eksiklikleri

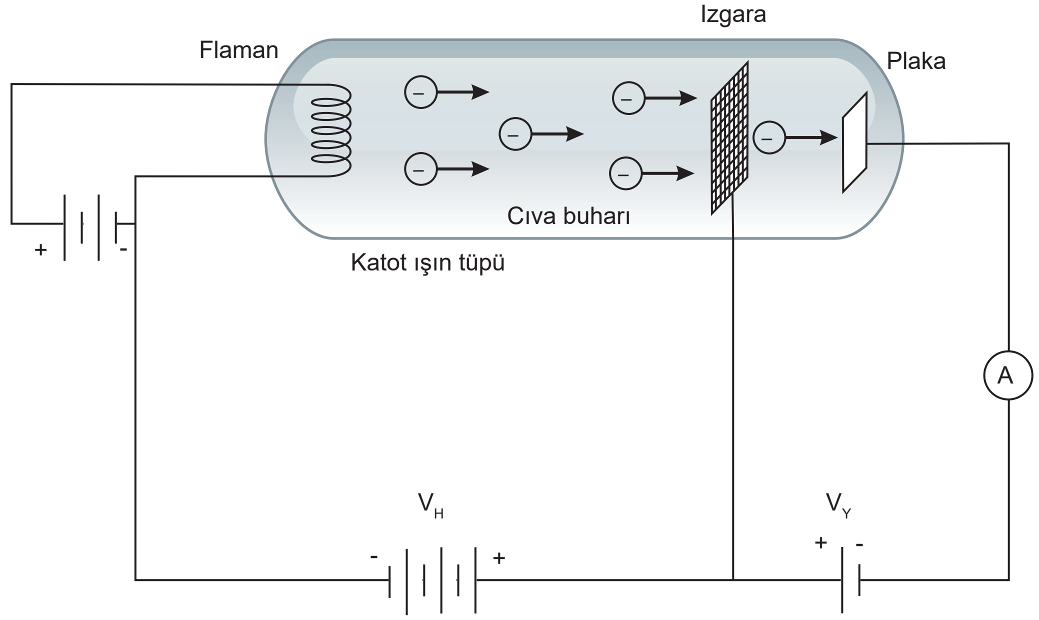
Rutherford atom modelinin açıklayamadığı durumlara açıklık getirilmesine rağmen bu modelde bazı eksiklikler vardır.

- Bohr modeline göre elektronun açısal momentumunun en küçük değeri $\frac{h}{2\pi}$ dir. Ancak gerçekte açısal momentumun en küçük değeri sıfırdır.
- Bohr modeli atomların kendi aralarında nasıl etkileştiklerini ve bu etkileşimlerin maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini nasıl etkilediğini açıklayamamıştır.
- Bohr atom modeli, hidrojen ve tek elektrona sahip atomlar için başarı ile uygulanmıştır. Ayrıca tek elektrona sahip iyonlar için de (He^{+}, Li^{+2}) Bohr atom modeli kullanılabilir. Ancak çok elektronlu atomların özelliklerinin açıklamasında eksik kalınmıştır.

- Atom ile ilgili bugünkü bilgilere göre Bohr'un ifade ettiği gibi elektronların dairesel yörüngelerde hareket ettikleri ifadesinin yanlış olduğu görülmüştür.

Franck-Hertz Deneyi

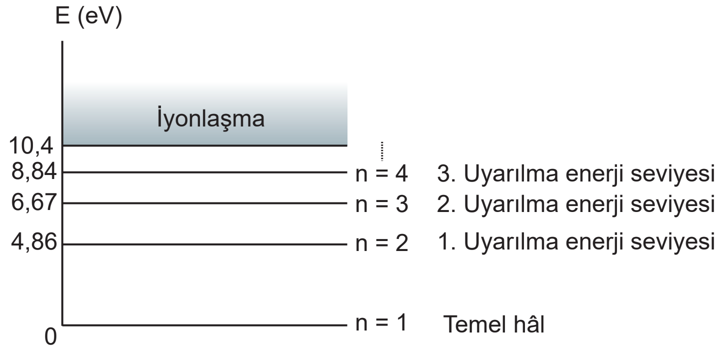
1914 yılında gerçekleştirilen Franck-Hertz deneyi ile atomların enerji seviyelerinin kesikli olduğu kanıtlanmıştır. Bu deneyle elektronların belirli enerji seviyelerinde bulunduğu gösterilmiş ve Bohr atom modeli desteklenmiştir.



Şekil 4.12: *Franck-Hertz deney tüpünün şematik gösterimi*

Franck-Hertz deney düzeneğinde (Şekil: 4.12) katot ışını tüpü, düşük basınçlı cıva buharı ile doludur. Düzenek tüpün bir ucunda ısıtıldığında elektron saçan bir flaman ile diğer ucun yüzeyinde oluşan elektronları toplayan metal plakadan oluşur. Bu ikisinin arasına elektronları hızlandırmak için bir ızgara yerleştirilmiştir. Flaman ve ızgara arasında uygulanan V_H hızlandırıcı gerilim sayesinde oluşan elektrik alan etkisinde flamandan ayrılan bir elektron hızlanarak ızgaradan geçer. Izgarayı geçen elektronlar yavaşlatıcı gerilim altında yavaşlayarak plakaya ulaşır ve akım oluşur.

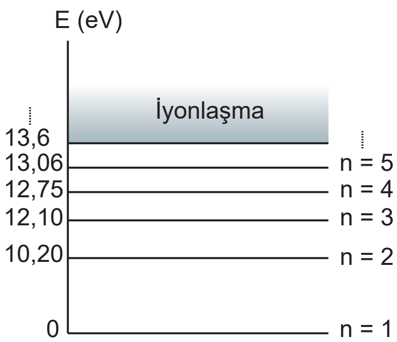
Hızlandırıcı potansiyel farkı artırıldığında ampermetreden okunan akım şiddeti artar. Ancak hızlandırıcı potansiyel farkı yaklaşık 4,9 eV değerine ulaştığında artması beklenen akımda düşüş meydana gelir. Bunun nedeni cıva buharı içerisinde hareket eden elektronların cıva atomları ile esnek olmayan çarpışma yapıp atomları uyarmaları sonucunda kinetik enerjilerinin bir kısmını kaybetmeleridir. Akımda meydana gelen düşüşün hızlandırıcı potansiyel farkı arttıkça tekrarlandığı görülür. Bu da atomun her seviyedeki enerjiyi değil, belli değerlere karşılık gelen enerjileri aldığını gösterir.



Şekil 4.13: *Cıva atomunun enerji seviyeleri*

Yapılan deney sonucunda cıva atomunun soğurduğu enerji miktarları hesaplanmış ve cıva atomuna ait enerji seviyeleri Şekil 4.13'teki gibi belirlenmiştir. Deney başka maddeler için de tekrarlanmış ve bütün atomların enerji seviyelerinin kesikli olduğu ve atomun cinsine bağlı olarak farklılaştığı kanıtlanmıştır.

Örnek



Hidrojen atomunun enerji seviyeleri verilmiştir.

Buna göre

I. 12 eV enerjili foton ile

II. 12 eV enerjili elektron ile

III. 13,06 eV enerjili foton ile

hangileriyle hidrojen atomu uyarılabilir?

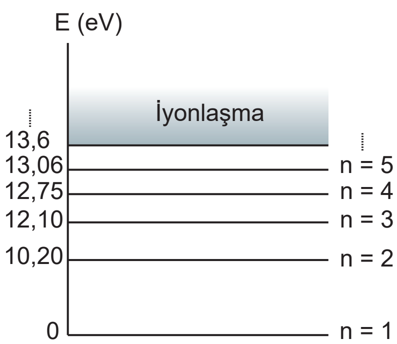
A) Yalnız II B) I ve II C) I ve III

D) II ve III E) I, II ve III

Çözüm

Fotonların enerjisinin enerji seviyelerinden birine eşit olması gerekir. Bu nedenle I yanlış, III doğru olur. Elektronun atomu uyarabilmesi için enerjisinin 1. uyarılma seviyesine eşit veya bu seviyeden büyük olması gerekir. Bu nedenle II de doğrudur. Doğru cevap D seçeneğidir.

Örnek



Enerji seviyeleri verilen hidrojen atomu 12,75 eV enerjili foton ile uyarılmaktadır.

Buna göre elektron temel hâle dönerken yapılan ışımanın enerjisi hangisi olamaz?

A) 0,65 eV B) 1,90 eV C) 2,55 eV

D) 5,20 eV E) 10,20 eV

Çözüm

12,75 enerjili foton soğurulur ve temel hâlde bulunan elektron n = 4 seviyesine çıkar. Elektron temel hâle dönerken

n = 4 ten n = 3 e inerse 12,75 - 12,10 = 0,65 eV enerjili foton yayar.

n = 3 ten n = 2 ye inerse 12,10 - 10,20 = 1,90 eV enerjili foton yayar.

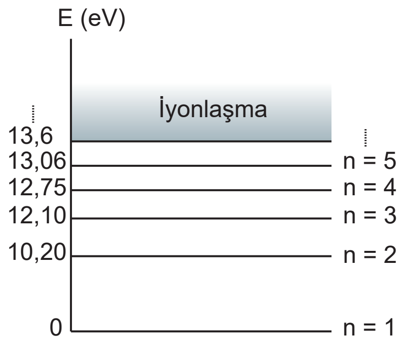
n = 4 ten n = 2 ye inerse 12,75 - 10,20 = 2,55 eV enerjili foton yayar.

n = 2 den n = 1 e inerse 10,20 - 0 = 10,20 eV enerjili foton yayar.

Doğru cevap D seçeneğidir.

Örnek

Enerji seviyeleri verilen hidrojen atomu 12,75 eV enerjili foton ile uyarılıyor.



Buna göre elektron temel hâle dönerken Lyman serisine ait kaç ışıma gözlenebilir?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

Çözüm

Hidrojen atomu 12,75 eV enerjili foton ile uyarıldığından temel hâldeki elektron n = 4 enerji seviyesine çıkar. Lyman serisi son yörüngesi n = 1 olan ışımalardır. Bu durumda n = 4 ten n = 1 e, n = 3 ten n = 1 e ve n = 2 den n = 1 e yapılacak ışımalar Lyman serisindendir. Doğru cevap C seçeneğidir.

Sıra Sizde - 5

Bohr atom teorisi

I. Elektronun sahip olduğu açısal momentumun en küçük değerinin sıfır olması

II. Çok elektronlu atomların özelliklerinin açıklanması

III. Elektronların yörünge yarıçaplarının kesikli değerlere sahip olması

verilen ifadelerden hangilerini açıklayamaz?

Çözüm

Sıra Sizde - 6

Atomların uyarılma yollarını kısaca açıklayınız?

Çözüm

4.1.3. Modern Atom Teorisi

Bohr atom modeli, yetersizliklerine rağmen klasik mekanikten kuantum mekaniğine geçişte önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. 1925 yılından sonra Schrödinger ve Heisenberg gibi önemli bilim insanlarının katkılarıyla kuantum mekaniği teorisi geliştirilmiş ve Bohr atom modelinin yetersizlikleri ortadan kaldırılmıştır.

Kuantum mekaniği, atom ölçeğinde madde ve ışığın özelliklerini açıklayan parçacık ve dalga modelini birleştiren bir fizik dalıdır.

1923 yılında Lowis de Broglie, hazırladığı doktora tezinde ışığı oluşturan fotonların hem parçacık hem de dalga özelliğine sahip olduğundan maddesel parçacıkların da dalga özelliğine sahip olabileceğini belirtmiştir.



Görse 4.3: *Erwin Schrödinger*

Avusturyalı Fizikçi Erwin Schrödinger (Ervin Şördinger, 1887-1961) (Görsel 4.3) 1926 yılında bir dalga denklemi oluşturmuştur. Bu denklem, madde dalgalarının uzay ve zaman içindeki değişimini açıklayarak kuantum mekaniği teorisinin gelişmesine önemli katkıda bulunmuştur. Schrödinger'in oluşturduğu denklem Broglie tarafından ortaya konan parçacıkların dalga yapısına da uygundur.

Max Born (Maks Born), 1926 yılında Lowis de Broglie dalgalarının fiziksel bir dalga olmadığını, bir **olasılık dalgası** olarak yorumlanması gerektiği düşüncesini ortaya atmıştır. Buna göre parçacıklar, de Broglie dalgasının bulunduğu her yerde bulunur. Dalganın güçlü olduğu yerlerde yüksek, zayıf olduğu yerlerde de düşük olasılıkla bulunur. Bu sebeple parçacığın konumu doğal bir belirsizlik taşır. Max Born, bu çalışmalarından dolayı 1954 yılında Nobel Ödülü'nü kazanmıştır.

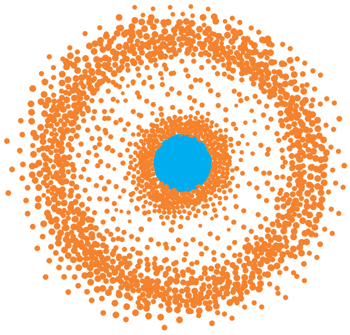


Görse 4.4: *Werner Heisenberg*

Dalga karakterine sahip küçük parçacıkların konumunun belirlenmesine yönelik Alman Fizikçi Werner Heisenberg (1901-1976) (Görsel 4.4) tarafından bir ilke ortaya konmuştur. Heisenberg Belirsizlik İlkesi olarak bilinen ifadeye göre "Bir parçacığın konumunun ve momentumunun aynı anda ve kusursuz olarak ölçülmesi mümkün değildir."

Klasik fizikte hassas yöntemlerle bir cismin hem konumunun hem de momentumunun kusursuz olarak ölçülmesinde bir engel yoktur.

Modern atom teorisinde elektron yörüngelerinden bahsedilmez. Elektronun yeri tam olarak bilinmemesine karşın elektronun belli bir zaman aralığında nerede bulunabileceği olasılığı açıklanabilir (Şekil 4.14). Modern atom teorisinde yörünge yerine atom orbitali terimi kullanılır. Orbitaller elektronların bulunma ihtimalinin yüksek olduğu bölgelerdir.



Şekil 4.14: *Hidrojen atomunun n = 2 durumu için elektronun bulunma olasılığını gösteren noktalı grafik*

Hidrojen atomu için Schröndinger denklemi çözümünde elektronların bulunabileceği enerji düzeyleri ve buna karşılık gelen dalga fonksiyonları üç kuantum sayısıyla gösterilir. Bu sayılar elektronların atomdaki dağılımlarını açıklar. Baş kuantum sayısı, açısal momentum kuantum sayısı ve manyetik kuantum sayısı atom orbitallerinin ve bu orbitallerde yer alan elektronların belirlenmesinde kullanılır. Ancak bazı gaz atomlarının spektrum çizgilerinde görülen alışılmışın dışındaki bir görünümü açıklamak için dördüncü bir kuantum sayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Spin kuantum sayısı olarak bilinen dördüncü kuantum sayısı ile elektronların davranışı açıklanır.

Araştırınız

Bohr atom modeli ile modern atom teorisini karşılaştırarak modern atom teorisinin önemini ve nükleer fiziğe katkılarını araştırınız. Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.

Atomdaki elektronların dağılımı ve bulunabileceği enerji düzeyi dört tane kuantum sayısıyla ifade edilir. Kuantum sayıları;

1. **Baş kuantum sayısı (n):** Elektronun ait olduğu kabuğu ya da enerji seviyesini belirtir. Yörünge numarası olarak da bilinir.

2. **Açısal momentum kuantum sayısı (ℓ):** Elektron bulutlarının şekillerini ve şekil farkı nedeni ile enerji seviyelerinde nasıl ayrılmanın olabileceğini belirtmek için kullanılan kuantum sayısıdır.

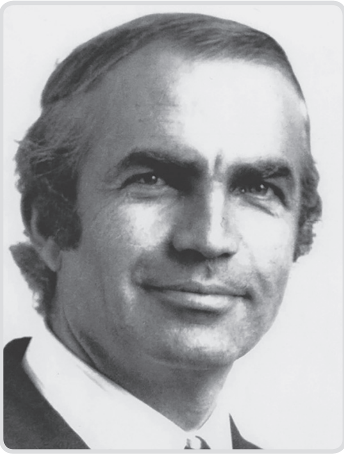
3. **Manyetik kuantum sayısı (m_ℓ):** Manyetik alan etkisinde kalan orbitallerin uzaydaki yönelim biçimini belirlemek için kullanılır.

4. **Spin kuantum sayısı (m_s):** Elektronların çekirdek etrafında dönerken aynı zamanda kendi eksenleri etrafında da döndüğünü belirlemek için kullanılır.

1925 yılında Wolfgang Pauli (Volfgein Pavli, 1900-1958) elektronların kuantum sayılarıyla ilgili çok önemli bir ilkeyi ortaya koymuştur. Pauli dışlama ilkesi olarak bilinen bu ilkeye göre aynı yerde, aynı anda iki elektron bulunamaz.



Görsel 4.5: *Feza Gürsey*



Görsel 4.6: *Asım Orhan Barut*



Görsel 4.7: *Behram N. Kurşunoğlu*

Modern atom teorisinin başarısıyla elde edilen ESR (Elektron Spin Rezonans), MR (Manyetik Rezonans), LASER gibi teknolojik cihaz ve uygulamalar günlük yaşantıda sık başvurulan uygulamalardır. Ayrıca yine modern atom teorisinin kazandırdığı nanoteknoloji, süper iletkenlik katı hâl fiziği ve yarı iletken fiziği gibi alanların sağladığı teknolojik imkanlar ve yenilikler de günlük hayatı kolaylaştıracak önemli alanlardır.

1950'li yıllarda fiziğin temel konularında araştırma yapmak isteyen fizikçiler ortaya çıkmıştır. Bu yıllardan itibaren Türk fizikçilerinin çeşitli teorik konularda yayımladıkları araştırmalarla ünleri dünyaya yayılmıştır. Bunlar arasında yer alan Feza Gürsey (1921-1992) (Görsel 4.5), Asım Orhan Barut (1922-2003) (Görsel 4.6) ve Behram N. Kurşunoğlu (1926-1994) (Görsel 4.7) atom fiziği konusunda önemli çalışmalar yapmışlardır.

Sıra Sizde - 7

Modern atom teorisiyle ilgili

I. Bohr atom modelinin yetersizliklerini ortadan kaldırmıştır.

II. Bir atomdaki elektronların durumu kuantum sayıları ile ifade edilmiştir.

III. Elektronlar çekirdek etrafındaki yörüngelerde bulunur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

Sıra Sizde - 8

Bir atom uyarıldığında temel hâlde bulunan elektron 5. enerji seviyesine çıkıyor.

Buna göre elektron temel hâle dönerken kaç farklı ışıma yapabilir?

Çözüm

2. BÖLÜM

BÜYÜK PATLAMA VE EVRENİN OLUŞUMU

Konular

4.2.1. Büyük Patlama Teorisi

4.2.2. Atom Altı Parçacıklar ve Temel Özellikleri

4.2.3. Madde Oluşum Süreci

Anahtar Kavramlar

- Büyük patlama
- Alt parçacık
- Antimadde

- **Evrenin bugünkü şekilde olmasında en etkili temel kuvvet hangisidir?**
- **Proton, nötron ve elektrondan başlayarak maddenin oluşum süreci nasıldır?**

Bu bölümde evrenin oluşumu ve geleceğiyle ilgili farklı teorilerin de olduğu ifade edilerek büyük patlama teorisini destekleyen bilimsel çalışmalardan bahsedilerek Hubble Yasası'na değinilecektir.

Atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlanarak açıklanacaktır.

Atom altı parçacıklardan başlayarak maddenin oluşumunun modelle açıklanması sağlanarak Higgs bozonuna kısaca değinilecektir.



4.2.1. Büyük Patlama Teorisi

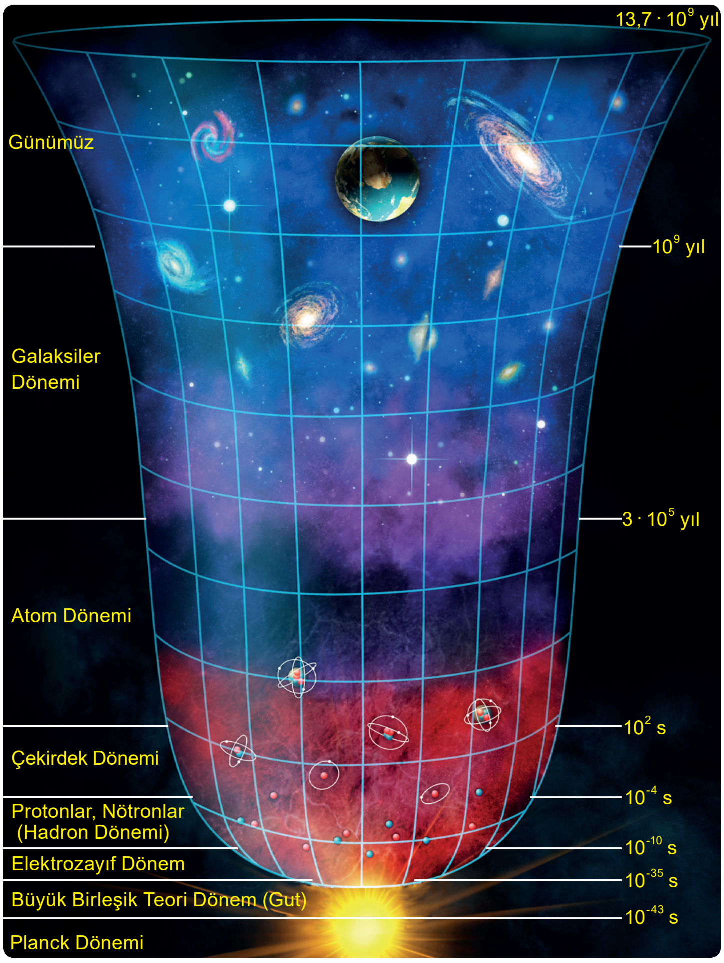
Araştırınız

Büyük patlama teorisini, bu teoriyi destekleyen bilimsel çalışmaları araştırınız ve araştırma sonuçları hakkında rapor hazırlayınız. Hazırladığınız bu raporu arkadaşlarınızla paylaşınız.

Dünya'yı evrenin merkezine yerleştirerek evreni Güneş, çevresindeki gezegenler ve görülebilen yıldızlar olarak kabul eden görüşler 21. yüzyıldan itibaren değişmeye başlamıştır.

Hubble, 1929 yılında yaptığı gözlem ve çalışmalar sonucunda galaksilerden gelen ışığın dalga boyundaki artış (kırmızıya kayma) ile galaksilerin Dünya'ya olan uzaklıkları arasında bir ilişki bulmuştur. Hubble Yasası olarak bilinen bu ilişkiye göre galaksiler birbirinden uzaklaşmakta ve evren her yönde genişlemektedir. Ancak galaksilerde genişleme olmaz.

Evrenin belirli bir noktadan dışarıya doğru genişlediği düşüncesinden yola çıkılarak bir başlangıcının olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Büyük patlama teorisine göre evrenin bir başlangıcı vardır. Bu başlangıçta ne madde ne uzay ne zaman ne de boşluk bulunmaktadır. Bu hiçlik içerisinde bulunan neredeyse nokta kadar bir büyüklükte ve Güneş'in çekirdeğinden trilyonlarca kat daha sıcak olan saf enerji bundan yaklaşık 13,7 milyar yıl önce henüz bilinmeyen bir nedenle bir anda genişleyerek şişmeye ve soğumaya başlamıştır. Evrenin büyük patlamadan günümüze kadar geçen sürede gelişimi Görsel 4.8'de verilmiştir.



Görsel 4.8: *Evrenin büyük patlamadan günümüze kadarki gelişimi*

Evrenin oluşumu ve geleceğiyle ilgili farklı teoriler de bulunmaktadır. Bu teorilerden bazıları süper simetri, süper kütle çekimi, süper sicim, süper zar ve M kuramıdır. M kuramı "Her şeyin" bileşik kuram olma yolunda en ümit verenidir.

Evrenin varoluş sürecini ortaya koymaya çalışan teoriler gibi yok olma sürecini anlatan büyük donma, büyük çöküş, büyük değişim, büyük parçalanma teorileri de ortaya atılmıştır.

Hatırlatma

Yapılan araştırmalarda evrenin yaklaşık %4 ünün maddeden, %26 sının karanlık maddeden, %70 inin ise karanlık enerji olarak adlandırılan enerji formundan oluştuğu tespit edilmiştir.

Sıra Sizde - 9

Büyük patlama teorisine göre

I. Evrenin bir başlangıcı vardır.

II. Başlangıçta her şey saf enerji halindedir.

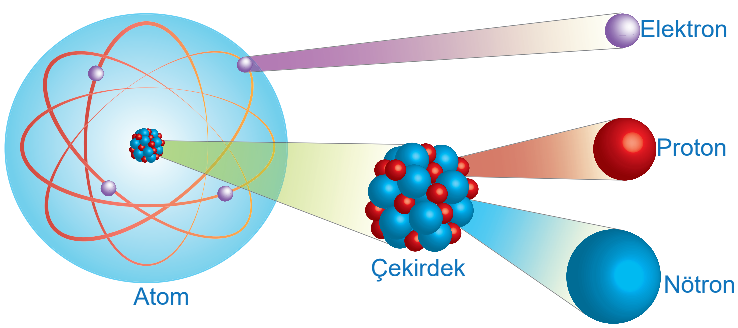
III. Evren genişlemektedir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

4.2.2. Atom Altı Parçacıklar ve Temel Özellikleri

İnsanoğlu tarih boyunca çevresinde gördüğü olayları anlamaya çalışmış, bunun için de gördüğü nesneleri sürekli incelemiştir. Bu sayede 21. yüzyılın ilk yarısı geçilmeden elektron, proton ve nötron keşfedilmiştir. Uzun bir süre elektron, proton ve nötron atomun temel yapı taşları kabul edilmiştir (Şekil 4.15). Ancak çok geçmeden bunların atomun temel yapı taşları olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan saçılma deneylerinde atomun yapısında proton ve nötrondan daha küçük parçacıkların da olduğu tespit edilmiş ve bu parçacıklara **atom altı parçacık** adı verilmiştir. İlerleyen süreçte birçok yeni parçacık daha keşfedilmiştir.



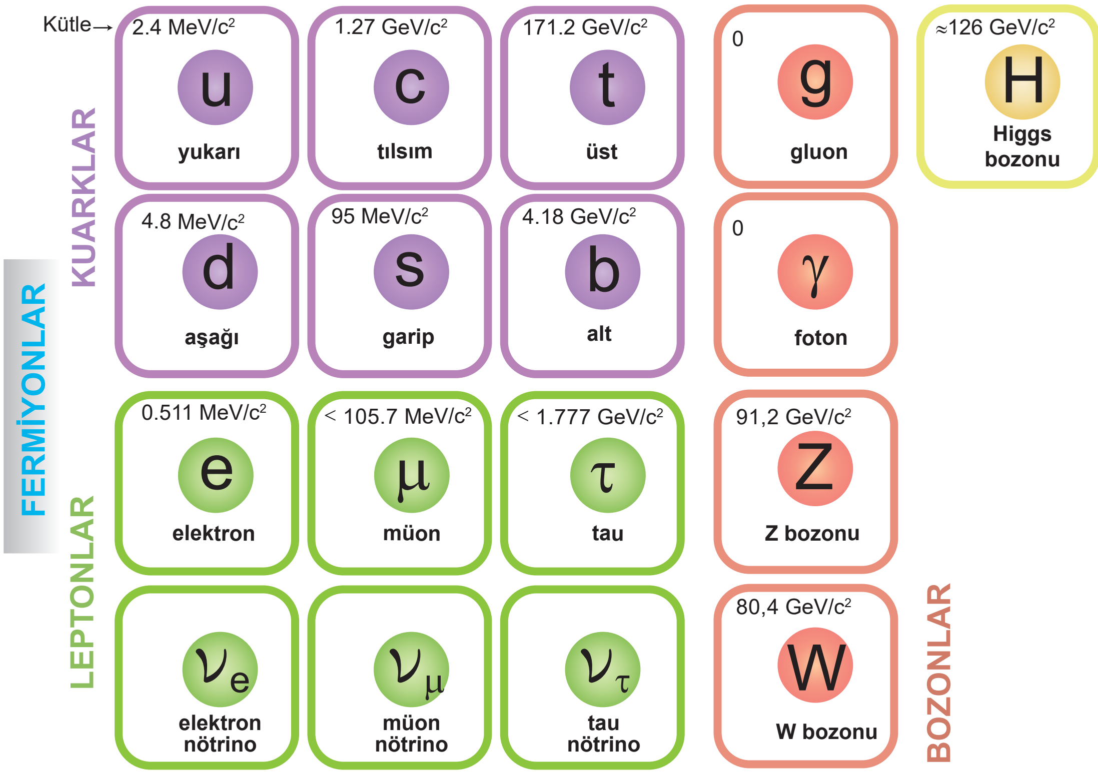
Şekil 4.15: *Atomun yapısında bulunan proton, nötron ve elektron gösterimi*

1964 yılında Murray Gell-Mann (Muri Gilman) ve George Zwig (Corc Zvig) proton ve nötronun maddenin temel yapı taşları olmadığını, yapı taşlarını kuark ve antikuarkların oluşturduğunu ifade etmiştir. Gell-Mann ve Zwig'in bu görüşüne kuark modeli adı verilmiştir. Kuarkların varlığını ispatlamak için 1967-1973 yılları arasında Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi'nde hızlandırılan elektronlar, proton ve nötron ile çarpıştırılarak parçacıkların iç yapıları keşfedilmeye çalışılmıştır.

Parçacık fiziğinde temel parçacıkları ve bu parçacıkların aralarındaki etkileşimlerinde etkili olan güçlü nükleer kuvvet, zayıf nükleer kuvvet ve elektromanyetik kuvveti açıklayan modele **standart model** denir. Standart model altında parçacıklar, fermiyonlar ve bozonlar diye iki gruba ayrılır. Fermiyonlar madde parçacıkları, bozonlar da bu parçacıklar arasında meydana gelen etkileşimlere aracılık eden kuvvet parçacıklarıdır.

Standart modelin öngörülerinin ispatlanması uzun zaman almıştır. Thomson'ın elektronu keşfiyle başlayan süreç 2012 yılında büyük hadron çarpıştırıcısında modelin son parçacığı olan Higgs bozonunun (Higs bozonu) keşfine kadar devam etmiştir.

Basitçe ifade etmek gerekirse evren, 6 çeşit kuark, 6 çeşit lepton ve kuvvet taşıyıcıları olan bozonlardan oluşur. Evrende bulunan kuarklar, leptonlar ve bunlara ait kuvvet taşıyıcıları Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16: *Kuark, lepton ve bunlara ait kuvvet taşıyıcıları*

a) Kuvvet Taşıyıcı Parçacıklar (Bozonlar)

Parçacıklar arasında etkileşmeyi sağlayan dört temel kuvvet ve kuvvet taşıyıcıları vardır. Fermiyon parçacıkları ile etkileşen kuvvet taşıyıcı

(alan) parçacıklara **bozon** adı verilir. Dalda duran bir elma, taş atılarak düşürülmek istendiğinde taş, elmanın bulunduğu dala çarpar ve düşmesine neden olur. Bu durumda taşa uygulanan kuvvet, elmaya taş tarafından iletilmiş gibi düşünülebilir. Kuvveti uygulayanla elma arasındaki etkileşimi sağlayan atılan taştır. Günlük hayatta karşılaşılan bu duruma benzer bir etkileşim madde parçacıkları (fermiyonlar) ile kuvvet taşıyıcı etkileşim (alan) parçacığı olan bozonlar arasında gerçekleşmektedir. Bozonlar kendi içlerinde dört gruba ayrılır. Standart modelde her kuvvetin kendine özgü iki çeşit parçacığı vardır. Kuarklar ve leptonlar, kuvvet taşıyıcı parçacıklar olan bozonlar aracılığıyla etkileşime girerek evrendeki görünür maddenin tümünü oluşturur.

b) Kuarklar

Kuarkların varlığı 1960 yılında matematiksel olarak öngörülmüş ancak varlığı 1969-1995 yılları arasında da deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Standart modelde altı çeşit kuark vardır. Kuarklar

yukarı (u) - aşağı (d)

tılsım (c) - acaip (s)

üst (t) - alt (b) gibi çiftler hâlinde anılır.

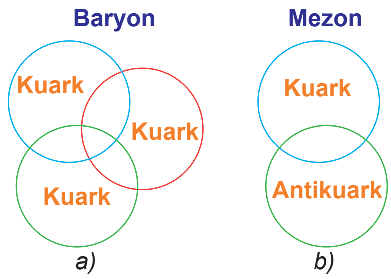
Doğada her parçacığın bir antiparçacığı bulunduğu gibi kuarkların antiparçacıkları da antikuarklarıdır. Parçacık-antiparçacık çiftinde olduğu gibi bir kuarkla o kuarkın antikuarkı aynı kütle ve yüke sahiptir, ancak yüklerinin işareti zıttır. Antiparçacıklar, parçacığın sembolü üzerine çizilen bir çizgi ile gösterilir (Şekil 4.17).

Nesil	1	2	3
Kuarklar	u yukarı	c tılsım	t üst
	d aşağı	s acaip	b alt
Antikuarklar	$\bar{u}$ antiyukarı	$\bar{c}$ antitılsım	$\bar{t}$ antiüst
	$\bar{d}$ antiaşağı	$\bar{s}$ antiacaip	$\bar{b}$ antialt

Şekil 4.17: *Kuarklar ve antikuarklar*

Hadronlar (Kuark Ailesi)

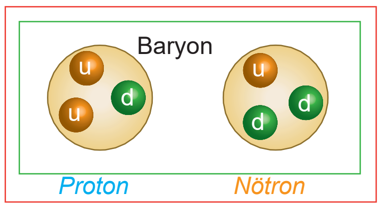
Kuarklar, güçlü kuvvet etkisiyle ikili veya üçlü gruplar hâlinde bir araya gelerek hadronları oluşturur. Hadronlar, baryonlar ve mezonlar olmak üzere iki gruba ayrılır (Şekil 4.18: a, b).



Şekil 4.18: *a) Baryonların oluşum modeli b) Mezon oluşum modeli*

Baryonlar

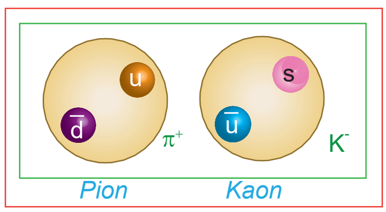
Üç kuarkın güçlü etkileşimle birbirine bağlanarak oluşturduğu parçacıklara **baryon** adı verilir. Baryonların kütlesi, bu ailenin en hafif parçacığı olan protonun kütlesinden daha büyüktür. Proton ve nötronlar üç kuarktan oluşan birer baryondur (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: *Proton ve nötronların kuark yapısı modelleri*

Mezonlar

Bir kuarkla bir karşıt kuarktan oluşan parçacıklara **mezon** adı verilir. Mezonlar, baryonlardan daha küçük kütleli parçacıklardır. Mezonlar genelde çok kararsızdır ve hızla diğer parçacıklara bozunur (Şekil 4.20).



Şekil 4.20: *Pion ve kaon mezonlarının kuark yapısı modelleri*

c) Leptonlar

Doğada serbest hâlde bulunan fermiyonlara lepton denir. Bu gruba giren parçacıkların en bilinen örneği elektrondur. Lepton kelimesi Yunancadaki “leptos” kelimesinden türetilmiştir. İnce, zarif, hafif, küçük anlamlarına gelir. Leptonlar hadronlardan daha hafiftir.

Sıra Sizde - 10

Atom altı parçacık aileleriyle ilgili

I. Kuarklar ve leptonlar temel parçacıklardır.

II. Mezonlar ve baryonlar hadronları oluşturur.

III. Kuvvet taşıyıcı parçacıklar bozon olarak adlandırılır.

yargılarından hangileri doğrudur?

Çözüm

Temel Kuvvetler

Doğada bilinen dört çeşit temel kuvvet vardır.

- Kütle çekim kuvveti
- Güçlü çekirdek kuvveti (Yeğin kuvvet)
- Zayıf çekirdek kuvveti
- Elektromanyetik kuvvet

Kütle Çekim (Gravitasyonel) Kuvveti

Kütle çekim kuvveti, kütleli tüm parçacıkların birbirini çekmesinden sorumludur. Kütleler arasındaki çekim kuvvetinin iletilmesine **graviton** adı verilen parçacıklar aracılık eder. Ancak gravitonlar deneysel olarak hâlen gözlenememiştir. Bu kuvvet büyük kütlelerin olduğu yerlerde çok etkili olmasına karşın temel parçacıklar üzerindeki etkisi ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Uzun menzilli kuvvettir.

Güçlü Çekirdek Kuvveti

Güçlü (yeğin) çekirdek kuvveti çekirdek boyutunda etkili, şiddeti en büyük kuvvettir. Protonlar arasındaki elektromanyetik itme kuvvetinden çok daha şiddetli olan bu kuvvet, çekirdeğin dağılmasını engeller. Bu kuvvetin iletimini sağlayan parçacıklara **gluon** adı verilir. Menzili kısadır. Temel kuvvetler arasında en güçlü olanıdır.

Zayıf Çekirdek Kuvveti

Kararsız çekirdeklerin bozulmasından nötrinoların ve diğer lepton türlerinin çekirdek ile etkileşimlerinden sorumlu kuvvettir. Kısa menzilli olan bu kuvvetin taşıyıcıları W ve Z bozonlarıdır. Şiddeti, güçlü nükleer kuvvetlerin milyarda biri kadardır.

Elektromanyetik Kuvvet

Kütle çekim kuvveti gibi uzun menzilli bir kuvvettir. Elektromanyetik kuvvet, yüklü parçacıklar arasındaki Coulomb Kuvveti, mıknatıslar arasında da elektromanyetik kuvvet olarak kendini gösterir. Bu kuvvetin taşıyıcı parçacıkları fotonlardır.

Abdus Salam (Abdus Selam), Sheldon Lee Glashow (Şeldın Li Glaşov) ve Steven Weinberg'in (Stivın Veinberg) elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine Nobel ödülünü almışlardır.

Sıra Sizde - 11

Temel kuvvetlerle ilgili

I. Temas gerektirmeyen kuvvetlerdir.

II. Uzun menzilli kuvvetlerdir.

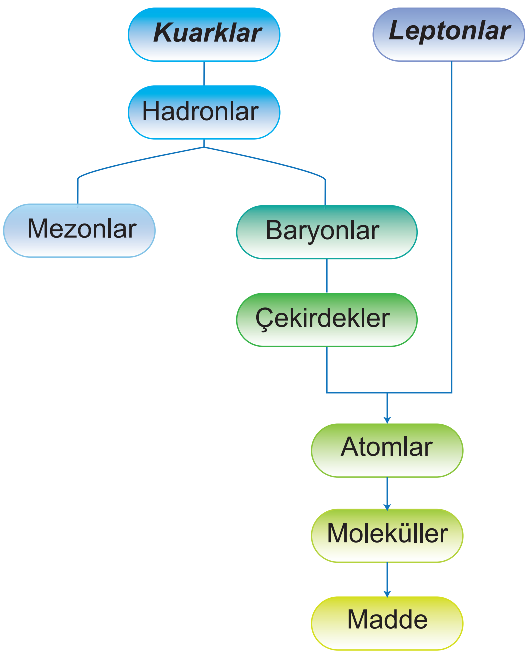
III. Atomun çekirdeğinin dağılmasını engelleyen kuvvet güçlü nükleer kuvvettir.

verilenlerden hangileri <u>kesinlikle</u> doğrudur?

Çözüm

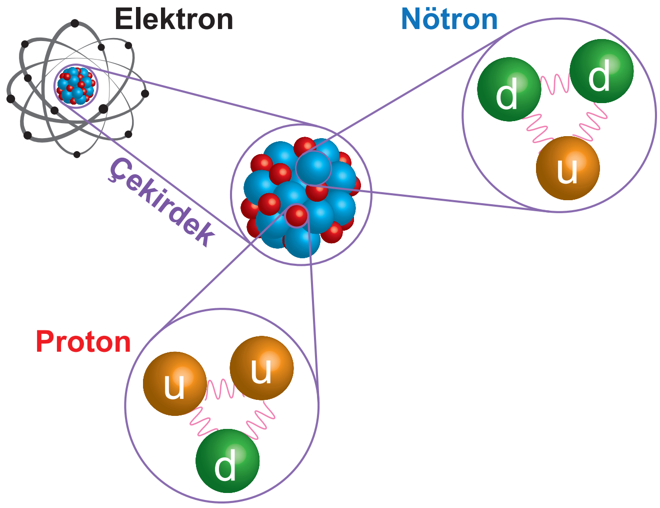
4.2.3. Madde Oluşum Süreci

Maddeyi oluşturan yapı taşları ve bu yapı taşlarının maddeyi oluşturma süreci Şekil 4.21'de verilmiştir. Parçacık ailesi iki ana yapıdan oluşur. Bozonlar, atomu oluşturan parçacıkları bir arada tutan kuvvet taşıyıcılarıdır. Fermiyonlar ise maddeyi oluşturan yapı taşlarıdır. Fermiyon ailesi kuarklar ve leptonlar olarak ikiye ayrılır.



Şekil 4.21: *Madde oluşum süreci*

Maddeyi oluşturan atomların oluşum basamakları Şekil 4.22'de verilmiştir.

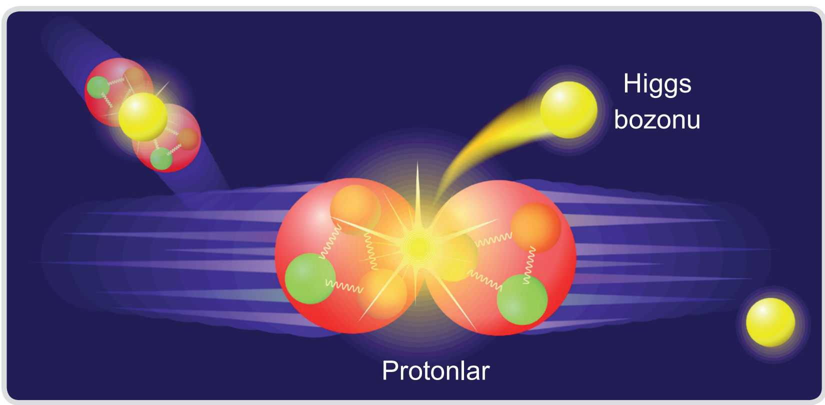


Şekil 4.22: *Atomun yapısında bulunan temel parçacıklar*

Doğada her çeşit madde, **fermiyon** adı verilen parçacıkların bozonlar aracılığı ile bir araya gelmesinden oluşmuştur. Kuarkların farklı şekillerde bir araya gelmesiyle oluşan atom altı yapılara **hadronlar** denir. Hadronlar, kendi içinde kütle büyüklüklerine göre mezonlar ve baryonlar olarak iki gruba ayrılır. Baryon üyesi olan proton ve nötronlar bir araya gelerek atomun çekirdeğini, atom çekirdeği lepton üyesi olan elektronlarla bir araya gelerek atomu, atomlar bir araya gelerek molekülleri, moleküller de bir araya gelerek maddeyi oluşturur.

Kütle ve Higgs Bozonu

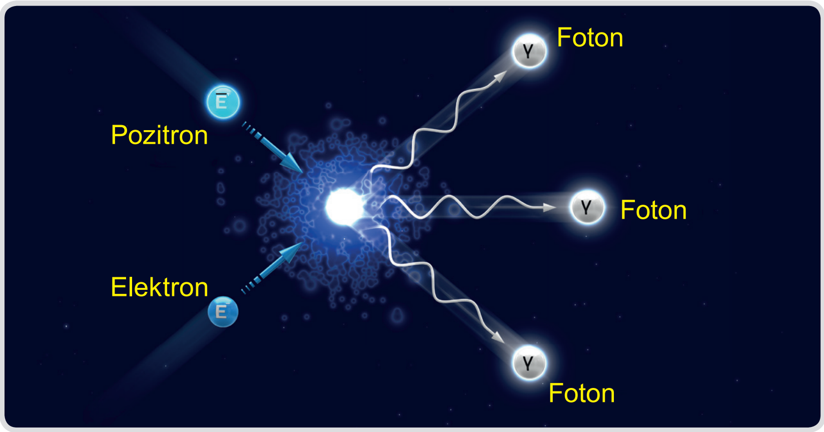
Standart modeldeki parçacıkların bazıları kütleliyken bazıları kütlesizdir. Standart model bu durumu Higgs mekanizmasıyla açıklar. Tüm uzayın Higgs alanıyla dolu olduğu varsayılır. Fermiyonlar, W ve Z bozonları uzayda hareket ederken bu alanla etkileşerek kütle kazanır. Fotonun ve gluonların kütlesiz olmasının sebebi ise Higgs alanıyla etkileşmemeleridir. Etkileşime aracılık eden parçacığa **Higgs bozonu** ya da **Higgs parçacığı** denir. Higgs bozonunun kendisi de Higgs alanıyla etkileşerek kütle kazanır (Görsel 4.9).



Görsel 4.9: *Higgs bozonu illüstrasyonu*

4.2.4. Madde-Antimadde

Doğada her parçacığın bir karşıt parçacığı (antiparçacık) vardır. 1930 yılında kozmik ışınların incelenmesi sırasında keşfedilen ilk antiparçacık, pozitrondur. Parçacık ve antiparçacıkların kütle ve yük büyüklükleri eşit, yük işaretleri zıttır. Antiparçacıkların bir araya gelmesiyle antimadde oluşur.



Görsel 4.10: *Yok olma tepkimesi*

Elektron ve karşıt parçacığı olan pozitron karşılaştığında birbirini yok ederek gama ışını yayar. Görsel 4.10'da bir parçacık ve onun karşıt parçacığı (antiparçacık) bir araya geldiğinde parçacıkların kütle enerjilerinin toplamına eşdeğer bir ışıma oluşur, buna **yok olma tepkimesi** adı verilir. Bu olay tersinirdir. Enerjisi, parçacıkların durgun kütle enerjisine eşdeğer olan iki foton bir araya geldiğinde parçacık ve antiparçacık oluşur, buna **çift oluşumu tepkimesi** adı verilir.

Sıra Sizde - 12

Standart modele göre maddeyi oluşturan parçacık ve taşıyıcıları hakkında

I. Atom çekirdeği kuarklardan oluşur.

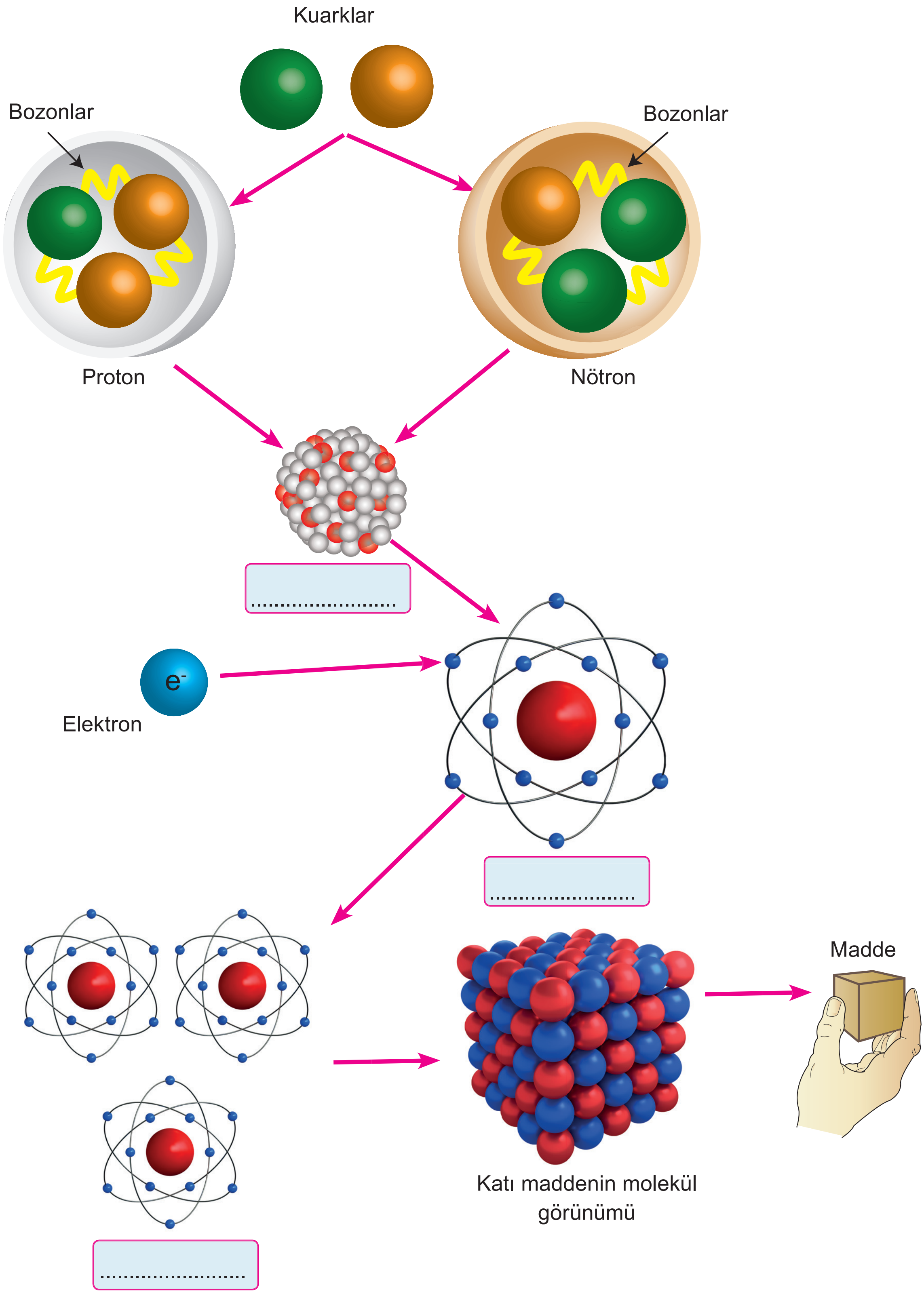
II. Elektron lepton ailesinin üyesidir.

III. Kuarklar ve leptonlar bozonlar aracılığıyla etkileşerek atomun yapısını oluşturur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

Sıra Sizde - 13



Yukarıdaki etkinlikte maddenin bilinen en küçük yapı taşından başlanarak maddenin oluşum sürecine kadar giden basamakları verilmiştir.

Buna göre boş kalan kutuları uygun terimlerle doldurunuz.

3. BÖLÜM RADYOAKTİVİTE

Konular

4.3.1. Kararlı ve Kararsız Atomların Özellikleri

4.3.2. Radyoaktif Bozunma Sonucu Atomun Kütle Numarası, Atom Numarası ve Enerjisindeki Değişimi

4.3.3. Nükleer Fisyon ve Füzyon

4.3.4. Radyasyonun Canlılar Üzerindeki Etkileri

Anahtar Kavramlar

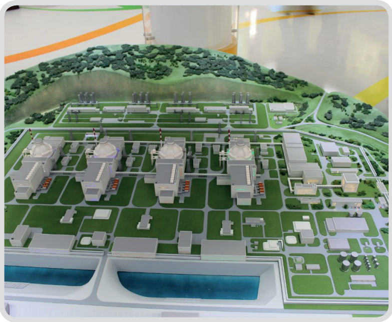
- Radyoaktivite
- Fisyon
- Füzyon

- **Günlük hayatta kullanılan cep telefonu, mikrodalga fırın ve bilgisayar radyasyon yayar mı?**
- **Nükleer enerjinin teknolojik ve çevresel etkileri neler olabilir?**

Bu bölümde radyoaktif madde, radyoaktivite, radyoaktif ışıma kavramları üzerinde durularak alfa, beta ve gama ışınımları açıklanacaktır. Nükleer enerji ile çalışan sistemler hakkında bilgi verilerek nükleer reaktörlerin bilime, teknolojiye, ülke ekonomisine ve çevreye etkileri üzerinde durulacaktır.

Atom bombasının yıkıcı etkileri tarihî gerçekler üzerinden açıklanarak nükleer silahsızlanmanın dünya barışı açısından önemi anlatılacaktır. Yaşam alanlarında var olan radyasyon kaynakları, radyasyondan korunma yolları ve radyasyon güvenliği hakkında bilgiler verilecektir.





Görsel 4.11: *Mersin Akkuyu Nükleer Güç Santrali Maketi*

Dünya, fosil yakıtlarının aşırı tüketiminden kaynaklanan çevre sorunları ile karşı karşıyadır. Fosil yakıtların azalıyor olması insanların yeni enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur. Bu enerji kaynaklarından biri de nükleer enerjidir. Nükleer enerji, atom çekirdeklerinin parçalanması veya birleşmesi sonucunda açığa çıkan bir enerji türüdür.

Ülkemizde Görsel 4.11'de maketi görülen Mersin Akkuyu Nükleer Güç Santrali de artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmaktadır.

Radyoaktivite, atom çekirdeğinin tanecik veya gama ışıması yayarak parçalanmasıdır. Bu parçalanma sonucunda enerji açığa çıkar. Bazı atom çekirdekleri çeşitli yollarla ışıma yapabilir. Kendiliğinden veya dışarıdan bir etkiyle çekirdeği bozunuma uğrayabilen atom çekirdeklerine **radyoaktif çekirdek**, bu atomların oluşturduğu maddelere **radyoaktif madde** denir. Radyoaktif bozunma kendiliğinden gerçekleşirse **doğal radyoaktiflik**, dışarıdan bir etki ile gerçekleşirse **yapay radyoaktiflik** adını alır.

Radyoaktif bozunma sonucu açığa çıkan enerjiye kısaca **radyasyon enerjisi** denir. Radyasyon enerjisinden özellikle nükleer santrallerde elektrik üretimi ve tıpta görüntüleme, teşhis ve tedavi amaçlı yararlanılmakla beraber Radyasyon enerjisi jeoloji ile arkeolojide de radyokarbon tarihleme amaçlı kullanılmaktadır.

4.3.1. Kararlı ve Kararsız Atomların Özellikleri

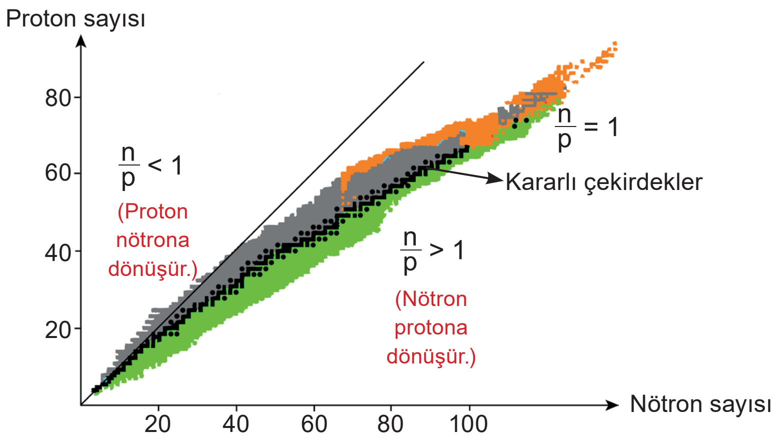
Pozitif elektrik yüklü proton ve elektrik yükü taşımayan nötrondan oluşan çekirdeğin hacmi, atomun hacminin çok az bir kısmını kaplarken kütlesi atom kütlesinin büyük bir kısmını oluşturur.

Yapılan çalışmalar çekirdek kütlesinin, çekirdeği oluşturan proton ve nötronların kütleleri toplamından daha az olduğunu göstermektedir. Albert Einstein, bu kütle farkının enerjiye dönüştüğünü ifade etmiştir. Çekirdekteki proton ve nötronları bir arada tutan bu enerjiye **bağlanma enerjisi** adı verilir.

Nükleon başına düşen bağlanma enerjisi büyük olan çekirdeklere **kararlı çekirdek** denir. Demir ve bakır elementleri kararlı çekirdeklere örnektir. Bağlanma enerjisi küçük olan çekirdeklere ise **kararsız (radyoaktif) çekirdek** denir. Kararsız atom çekirdekleri kararlı hâle gelmek için çeşitli yollarla ışıma yapar. Uranyum, toryum, aktinyum ve radyum gibi elementler kararsız çekirdeklerdir.

Kararlı çekirdeklerde nötron sayısının proton sayısına oranı 1 e yakın olurken bu oran 1 den uzaklaştıkça kararlılık azalır. Atom numarası 20 ye kadar olan elementlerin nötron ve proton oranı ($\frac{n}{p}$) 1 e yakındır. Bu nedenle atom numarası 20 ye kadar olan atomların çekirdekleri genellikle kararlıdır.

Nötron sayısının proton sayısına oranı, 1 den büyük olan çekirdeklerde nötronlar protonlara, 1 den küçük olan çekirdeklerde ise protonlar nötronlara dönüşerek kararlı hâle gelmeye çalışır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23: *Elementlerin proton ve nötron sayılarının değişimine bağlı olarak nükleer kararsızlık eğrisi*



Görsel 4.12: *Marie Curie (Temsili resmi)*

Radyoaktiflik, ilk kez Henri Becquerel (Henri Bekerel, 1852-1908) tarafından 1896'da uranyum tuzu kristallerinin görünmeyen radyasyon yaydığını keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır

Radyoaktivite üzerinde çalışmalar yapan Pierre Curie (Pier Kuri) ve Marie Curie (Mari Kuri) 1898 yılında radyum ve polonyum elementlerini keşfetmiştir. Marie Curie (Görsel 4.12) hem fizik hem de kimya alanında yaptığı çalışmalardan dolayı iki kez Nobel ödülü almıştır.

Röntgen'in ilk çalışması 1870 yılında kuartzın elektriksel ve diğer özelliklerini araştırmaktı. Röntgen, X-ışınlarını keşfetmesiyle adını duyurmuş ve bu buluşuyla Nobel ödülü almıştır.

Sıra Sizde - 14

Karanlık bir ortamda bulunan fotoğraf filminin, ortamda bulunan kararsız atomlardan etkilenirken kararlı atomlardan etkilenmediği görülür.

Bu olayın nedenini açıklayınız.

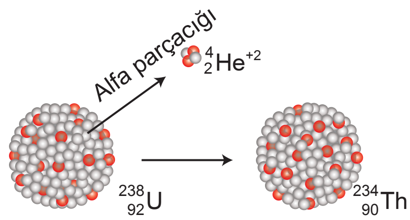
Çözüm

4.3.2. Radyoaktif Bozunma Sonucu Atomun Kütle Numarası, Atom Numarası ve Enerjisindeki Değişimi

Bir atom çekirdeğindeki proton sayısı veya atom numarası Z, nötron sayısı N ve atomun kütle numarası A sembolleriyle gösterilir. Kütle numarası

$A = Z + N$ ile ifade edilir.

Sembolik olarak bir atom, ${}^{A}_{Z}X$ biçiminde gösterilir.

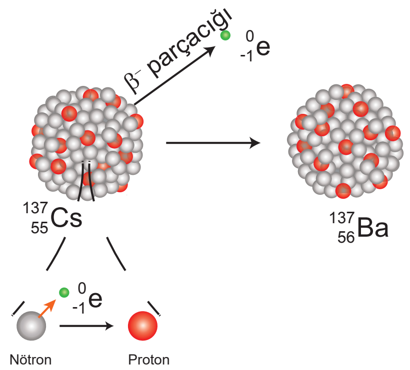


Şekil 4.24: *Alfa (α) bozunumu*

Alfa (α) Bozunumu

α bozunumu sonucunda, atom çekirdeğinden $^{4}_{2}He^{+2}$ iyonu (α parçacığı) yayınlanır (Şekil 4.24). Bu yayınlanma sonucunda çekirdeğin proton ve nötron sayısı 2 azalırken kütle numarası 4 azalmış olur. α parçacığı uranyum, toryum, radyum ve aktinyum gibi elementlerin bozunumu sonucunda açığa çıkar. Bozunma sırasında atomun enerjisinin bir kısmı α parçacığının kinetik enerjisine dönüşeceği için atomun enerjisi azalır. Bozunmanın denklemi

$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He^{+2}$ şeklindedir.



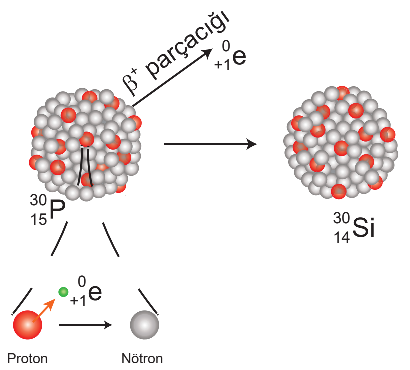
Şekil 4.25: β^{-} *bozunumu*

Beta (β) Bozunumu

β bozunması β^{-} ve β^{+} olmak üzere iki şekilde gerçekleşebilir. Nötron sayısının proton sayısına oranı, 1 den büyük olan çekirdeklerde β^{-} bozunması gerçekleşir. Bu bozunmada atom çekirdeği içinde bulunan bir nötron kendiliğinden proton, elektron ve anti-nötrinoya dönüşür (Şekil 4.25). Proton çekirdekte kalırken elektron β^{-} parçacığı ($^{0}_{-1}e$) şeklinde yayınlanır. Ortaya çıkan proton nedeni ile atom numarası bir artarken kütle numarası değişmez.

Bu bozunmanın denklemi

$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e + \overline{\nu}_{e}$ şeklindedir.



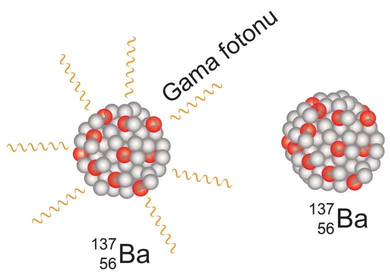
Şekil 4.26: β^{+} *bozunumu*

Nötron sayısının proton sayısına oranı, 1 den küçük olan çekirdeklerde β^{+} bozunması gerçekleşir. Bu bozunmada atom çekirdeği içerisinde bulunan bir proton kendiliğinden nötrona, pozitron ve nötrinoya dönüşür (Şekil 4.26). Nötron, çekirdekte kalırken pozitron β^{+} parçacığı ($^{0}_{+1}e$) şeklinde yayınlanır. Ortaya çıkan nötron nedeniyle atom numarası bir azalırken kütle numarası değişmez.

Bu bozunmanın denklemi

$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e + \nu_{e}$ şeklindedir.

Bu reaksiyonlarda toplam enerji korunurken atom çekirdeğinin enerjisi azalır.



Şekil 4.27: γ *bozunumu*

Gama (γ) Bozunumu

α ve β radyoaktif bozunumu gerçekleştiren bazı tepkimelerin sonunda çekirdek, uyarılmış hâlde kalır. Bu durumda çekirdek uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine geçişte gama (γ) ışını adı verilen fotonlar yayınlayarak enerji kaybeder (Şekil 4.27).

Bu bozunmanın denklemi

$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$

şeklinde ifade edilir.

Gama ışıması yapan çekirdeklerin kütle ve atom numarası değişmez. Çekirdek, enerjisinin bir kısmını foton olarak yayar. Böylece çekirdeğin enerjisi azalmış olur.

Örnek

Radyoaktif bozunumlar sonucunda atomun

I. Kütle numarası

II. Atom numarası

III. Enerjisi

niceliklerinden hangileri kesinlikle değişir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) I, II ve III

Çözüm

α bozunumlarında atom numarası ve kütle numarası değişirken β bozunumunda sadece atom numarası değişir. γ bozunumlarında ise atom ve kütle numarası değişmez. Ancak her üç bozunmada da enerji değişir. Bu durumda doğru cevap C seçeneğidir.

Sıra Sizde - 15

Radyoaktif elementler bozunuma uğrayarak yeni elementlere dönüşebilir. Bozunmalar sonucunda açığa enerji çıkar.

Buna göre

$^{232}_{90}Th \rightarrow ^{228}_{88}Ra + X$

$^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{226}_{89}Ac + Y$

şeklinde verilen radyoaktif tepkimelerdeki X ve Y parçacıkları nedir?

Çözüm

Sıra Sizde - 16

Kararlı çekirdekler için nötron sayısının proton sayısına göre değişim grafiği verilmiştir.

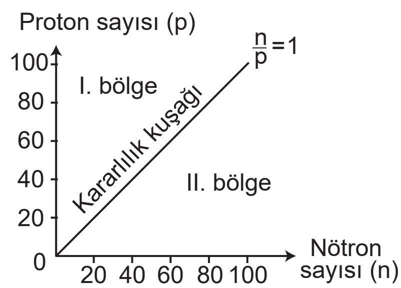
Buna göre

I. Kütle numarası küçük olan çekirdeklerde $\frac{n}{p}$ oranı 1 e yaklaştıkça çekirdeklerin kararlılığı artar.

II. II. bölgedeki bir çekirdeğin kararlı olabilmesi için β^- ışıması yapması gerekir.

III. I. bölgedeki bir çekirdeğin kararlı olabilmesi için β^+ ışıması yapması gerekir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?



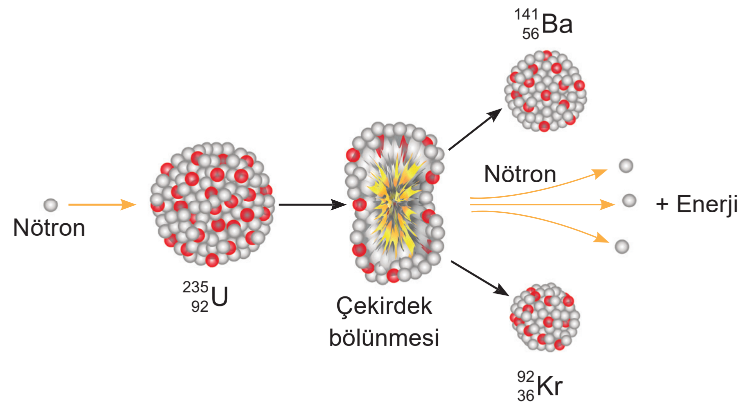
Çözüm

4.3.3. Nükleer Fisyon ve Füzyon

Nükleer Fisyon

Nükleer enerji denince akla ilk gelen ağır atom çekirdeklerinin parçalanmasıyla açığa çıkan çok yüksek enerjidir. Bu enerjiyi günlük hayatta kullanılan elektrik enerjisine çevirmenin aracı ise nükleer güç santralleridir. İnsanlığın artan elektrik enerjisi ihtiyacının çoğunu nükleer güç santralleriyle hidroelektrik ve termik santraller karşılamaktadır.

Nötronlarla bombardıman edilen ağır atom çekirdeğinin parçalanarak daha hafif iki veya daha fazla farklı çekirdeğe bölünmesine **fisyon** denir.



Şekil 4.28: *Fisyon tepkimesi*

$^{235}_{92}U$ çekirdeği nötron bombardımanı sonucu daha hafif ve kararlı olan $^{141}_{56}Ba$ ve $^{92}_{36}Kr$ çekirdeklerine dönüşürken üç tane nötron ve enerji açığa çıkar (Şekil 4.28).

Nükleer reaktörlerde enerji, uranyum ya da toryum çekirdeklerinin kontrollü fisyonu sonucunda elde edilebilir. Nükleer reaktörlerde, nükleer enerji elde etmenin yanı sıra tıpta ve diğer birçok alanda kullanılan radyo izotoplarının büyük kısmı üretilir.

Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu tarafından yayımlanan rapora göre dünyada 31 ülkede nükleer güç reaktörü mevcuttur. Çalışır hâlde olan reaktörler, dünyadaki elektrik üretiminin %10-15 ini sağlamaktadır. Nükleer reaktörlerin atıkları güvenle muhafaza edildiği sürece temiz bir enerji türüdür.

Nükleer enerjinin ülke ekonomisine ve çevreye sağladığı faydalar aşağıda verilmiştir.

1. Dışa olan enerji bağımlılığını azaltacaktır.
2. Doğal kaynakların uzun süre korunmasını sağlayacaktır.
3. Ülke nükleer teknolojiye sahip olacaktır. Bu teknoloji tıp, bilişim ve savunma sanayi gibi alanlarda ülkelere önemli katkılar sağlayacaktır.
4. Enerjide fiyat istikrarı sağlayacaktır.

Araştırınız

Nükleer enerjiyle çalışan sistemleri araştırınız. Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.

5. Nükleer santrallerde karbondioksit salınımı düşük olduğu için çevreci bir enerji kaynağıdır.

Fisyon reaksiyonları sonucunda elde edilen atom bombasında, ${}^{235}_{92}U$ çekirdeklerinin nötronlarla bombardıman edilmesi sonucunda zincirleme reaksiyon meydana gelir ve büyük miktarda enerji açığa çıkar.

Atom bombası ilk olarak 2. Dünya Savaşı'nda kulanılmıştır. Japonya'nın Hiroşima (Görsel 4.13) ve Nagasaki kentlerine atılan atom bombaları büyük hasar vermiş, binlerce insanın hayatını kaybetmesine sebep olmuştur.



Görsel 4.13: *Atom bombası atıldıktan sonra Japonya'nın Hiroşima şehrinden bir görüntü*

Nükleer silahların kullanılması çevreye verdiği büyük zararların yanında kalıcı genetik hastalıklara sebep olmaktadır. Nükleer silahlara sahip olan devletler her ne kadar kendi savunmalarını ve güvenliklerini gerekçe gösterse de bu silahların yeryüzünde bulundurulması insanlığın geleceğini tehdit etmektedir. Nükleer silahsızlanma kalıcı barışın sağlanması için gereklidir.

Nükleer Füzyon

Dünyanın artan nüfusu; ısıtılacak ve aydınlatılacak daha çok ev, gıda ve temel gereksinimleri üretecek daha çok fabrika, insanları taşıyacak daha çok otomobil, gemi, uçak kısacası daha çok enerji demektir.

Nüfus artışıyla birlikte insanların enerjiye duyduğu ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu nedenle bilim insanları temiz ve neredeyse tükenmez bir enerji kaynağı elde etmek için en hafif ve bol bulunan hidrojen atomlarını birleştirerek enerji elde edilebilmesi çalışmaları yapmaktadır.

Çok yüksek sıcaklıklarda atom numarası küçük olan radyoaktif atom çekirdeklerinin daha ağır atom çekirdeklerini oluşturmasına **füzyon** denir.

Sıra Sizde - 17

Füzyon ve fisyona ait

I. Ağır çekirdeklerin nötronla parçalanmasına fisyon denir.

II. Hafif çekirdeklerin bir araya gelerek birleşmesine füzyon denir.

III. Nükleer güç santrallerinde füzyon reaksiyonlarıyla enerji elde edilir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

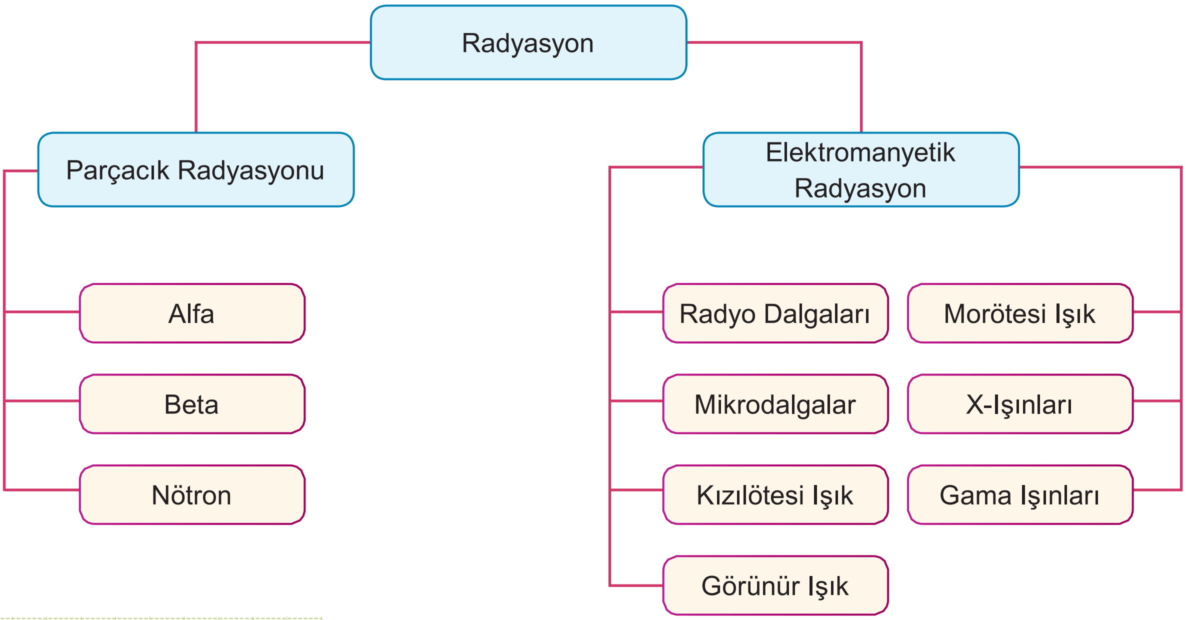
Çözüm

4.3.4. Radyasyonun Canlılar Üzerindeki Etkileri

Araştırınız

Yaşam alanlarında var olan radyasyon kaynaklarını, radyasyondan korunma yollarını ve radyasyon güvenliğini araştırınız. Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.

Dalga ya da parçacık şeklinde yayılan enerjiye **radyasyon** denir. Enerji miktarına göre düşük ve yüksek enerjili radyasyon olarak ikiye ayrılır. Yüksek enerjili radyasyon, atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonlaştırabilen radyasyondur. Bu tür radyasyonlara **iyonlaştırıcı radyasyon** denir. İyonlaştırıcı radyasyon atom çekirdeğinden yayımlanıyorsa γ, yörüngelerden yayımlanıyorsa X-ışını şeklindedir. Radyasyon çeşitleri Şekil 4.29'da gibidir.



Şekil 4.29: *Radyasyon çeşitleri*

Radyasyonun iyonlaştırıcı etkisi nedeniyle canlı dokular zarar görebilir. İyonlaştırıcı radyasyon ciltteki yanıktan kansere kadar farklı hastalıklara sebep olabilir. Üreme hücrelerindeki DNA yapısının bozulması bedensel ve zihinsel engelli bireylerin dünyaya gelmesine neden olur. DNA yapısındaki değişim nesilden nesile aktarılarak kalıcı izler oluşturur.

Canlılar yaşamları boyunca belirli miktarda radyasyona maruz kalır. Bu radyasyonun çoğu Güneş'ten ve uzaydan gelen kozmik ışınlardan kaynaklanır. Teknolojik ürünler de radyasyon yaymaktadır.

Günlük hayatta kullanılan teknolojik ürünlerin yaydığı radyasyondan korunmak için alınabilecek tedbirlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Kullanılmayan elektrikli aletler kapalı tutulmalı ve fişleri prizden çekilmelidir.
- Yatak odalarında TV, bilgisayar ve cep telefonu bulundurulmamalıdır.
- Cep telefonuyla uzun süreli konuşulmamalıdır.
- Televizyon, bilgisayar ve fotokopi makinelerinin en az bir metre uzağında durulmalıdır.

- Mikrodalga fırının çalıştığı ortamda uzun süre bulunulmamalıdır (Görsel 4.14).
- Zorunlu olmadıkça bilgisayarlı tomografi cihazı (BT) ile vücut taraması yaptırılmamalıdır (Görsel 4.15).

Radyasyonun yararlı etkileri de olduğu için tıpta, üretim sektöründe ve biyoloji alanında da sıkça kullanılmaktadır. Radyasyon tıpta hızlı bölünen hücrelere zarar vermesinden dolayı kanser tedavisinde kullanılır.



Görse 4.14: *Mikrodalga fırın*



Görse 4.15: *Bilgisayarlı tomografi cihazı*

Sıra Sizde - 18

Radyasyonun canlılar üzerindeki etkilerini kısaca açıklayınız?

Çözüm

Sıra Sizde - 19

Nükleer tepkimeler sonucunda çekirdeğin yapısı değişir ve farklı çekirdeklere dönüşürken fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda çekirdeğin iç yapısında bir değişiklik meydana gelmez.

Buna göre

I. Suyun elektrolizi

II. Güneş'te hidrojen atomlarının helyuma dönüşmesi

III. Gazların iyonlaşıp plazma hâline geçmesi

IV. Yıldırım düşmesi olayı

verilenlerden hangileri nükleer tepkimeye örnek olarak gösterilebilir?

Çözüm

Araştırınız

Nükleer santrallerden elektrik enerjisi elde edilme süreci sırasında meydana gelen enerji dönüşümünü araştırınız. Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.

temel hâlde	füzyon	baryonlar
kuark	büyük patlama	foton
fisyon	hadronlar	zayıf
radyoaktif çekirdek	ışık	kuantum mekaniği

1. Uyarılmamış bir atomda elektronlar .... bulunur.
2. Uyarılmış bir atomda üst enerji seviyelerinden birine çıkan elektron .... yayarak temel hâle geri döner.
3. Atom ölçeğinde ışık ve maddenin özelliklerini açıklayan, parçacık ve dalga modelini birleştiren .... bir fizik dalıdır.
4. Hadronlar, mezonlar ve .... üzere ikiye ayrılır.
5. Hubble Yasası .... teorisini desteklemektedir.
6. Güçlü kuvvet etkileşimi yapan parçacıklara .... adı verilir.
7. Leptonlar, ... kuvvet etkileşiminde bulunan parçacık grubudur.
8. Fotonlar .... hızıyla hareket ederler.
9. Hadronlar .... adı verilen iki ya da üç temel bileşenin bir araya gelmesinden oluşur.
10. Atom numarası küçük olan radyoaktif atom çekirdeklerinin birleşerek daha ağır atom çekirdekleri oluşturmasına .... denir.
11. Ağır bir atom çekirdeğinin nötronla bombardıman edilerek hafif çekirdeklere bölünmesine .... denir.
12. Tanecikler arasındaki "Coulomb Kuvveti", proton ve nötron arasındaki güçlü çekirdek kuvvetinden büyük olan çekirdeklere .... denir.

B) Aşağıdaki soruların cevaplarını boş bırakılan alana yazınız.

13. Modern atom teorisinde elektronların ikili yapıya sahip oldukları kabul edilir. **Elektronlar parçacık yapısı dışında hangi yapıya sahiptir?**

Cevap: ....

14. **Çekirdekteki "güçlü nükleer kuvvet" itme kuvveti olan "Coulomb Kuvveti"nden büyük olan çekirdeklere ne ad verilir?**

Cevap: ....

15. **Evrenin ilk oluşum süreci olarak tanımlanan dönemin adı nedir?**

Cevap: ....

16. **Dalton atom modelinin atomun yapısıyla ilgili öngörüleri nedir? Kısaca açıklayınız.**

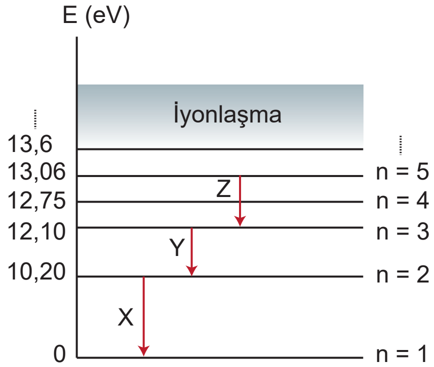
Cevap: ....

17. **Bilim insanlarının tüm temel parçacıkları ve üç temel etkileşimi bir araya getirerek parçacık fiziğinde oluşturduğu modele ne ad verilir?**

Cevap: ....

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

18. Bir hidrojen atomu n = 5 enerji seviyesine uyarılıyor. Elektron temel hâle dönerken X, Y ve Z ışımaları yapıyor. Yapılan ışımalar sırasında yayılan fotonlardan dalga boyları λ_X, λ_Y ve λ_Z dir.



Buna göre λ_X, λ_Y ve λ_Z arasındaki ilişki nedir?

A) $\lambda_Z > \lambda_Y > \lambda_X$
B) $\lambda_Y > \lambda_X > \lambda_Z$
C) $\lambda_X > \lambda_Y > \lambda_Z$
D) $\lambda_X > \lambda_Z > \lambda_Y$
E) $\lambda_Z > \lambda_X > \lambda_Y$

19. Güçlü çekirdek kuvveti (yeğin kuvvet) ile ilgili

I. Kısa menzillidir.
II. Nötron ve protonu çekirdeğe bağlar.
III. Temel kuvvetler içerisinde en şiddetli olanıdır.

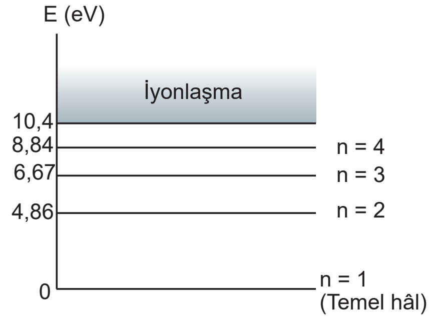
ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

20. Bohr atom modeline göre bir atomun ikinci yörüngesinin yarıçapı r_1, üçüncü yörüngesinin yarıçapı r_2 ise $\frac{r_1}{r_2}$ oranı kaçtır?

A) $\frac{1}{16}$ B) $\frac{1}{4}$ C) $\frac{4}{9}$ D) $\frac{2}{3}$ E) $\frac{9}{4}$

21. Cıva atomunun enerji düzeyleri verilmiştir.



Buna göre cıva atomu

I. 5 eV kinetik enerjili elektron
II. 6 eV enerjili foton
III. 10 eV enerjili foton

hangileriyle uyarılabilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III

22. Atom altı parçacıklarla ilgili

I. Hepsi kuarklardan oluşur.
II. Baryonlar üç kuarktan oluşur.
III. En küçüğü iki kuarktan oluşur.

ifadelerinden hangileri kesin doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) II ve III E) I ve III

23. Aşağıdaki ifadelerden hangisi Rutherford atom teorisinin öngörülerinden biri değildir?

A) Atomun büyük bir kısmı boş bir uzay parçasıdır.
B) Elektrik yüklü maddelerin yükleri elektronun yükünün tam katlarıdır.
C) Elektronlar kararlı yörüngelerde dolanır.
D) Atomda, çekirdek yüküne eşit sayıda elektron bulunur.
E) Elektronlar, çekirdek çevresindeki boşluklarda hareket etmektedir.

24. **Bohr atom teorisine göre**

I. Elektronlar atom çevresinde herhangi bir uzaklıkta bulunabilir.

II. Atomun açısal momentumu kesiklidir.

III. Atomun enerji seviyeleri kesiklidir.

verilenlerden hangileri yanlıştır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) II ve III E) I, II ve III

25. I. Çekirdeğin etrafında yörüngede dolanır.

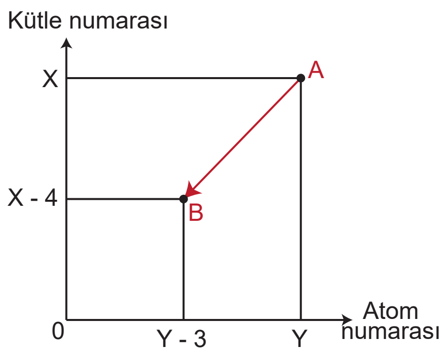
II. Hem parçacık hem de dalga yapısına sahiptir.

III. Hem konumları hem de momentumları aynı anda kusursuz olarak belirlenemez.

Yukarıdaki yargılardan hangileri modern atom teorisinin elektron için ortaya koyduğu durumlardan biri değildir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

26. Radyoaktif A çekirdeği yaptığı bozunma sonucu B çekirdeğine dönüşmektedir.



Buna göre A çekirdeği B çekirdeğine dönüşürken hangi ışımaları yapmaktadır?

A) α, α B) α, γ C) α, β^- D) α, β^+ E) γ, γ

27. **Thomson atom modeliyle ilgili**

I. Negatif yükler, pozitif yüklerin arasına homojen olarak dağılmıştır ve hareketsizdir.

II. Pozitif yük miktarı negatif yük miktarına eşittir.

III. Elektronun yükünün kütlesine oranını bulmuştur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

28. **Radyasyon enerjisinin kullanım alanları ile ilgili**

I. Tıpta, katarakt göz tedavisinde

II. Sanayide, kesme ve delme işlemlerinde

III. Tarımda, böceklenmenin önlenmesinde

verilenlerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

29. Modern atom teorisinde atomdaki bir elektronun durumu dört kuantum sayısıyla belirlenir.

Buna göre

I. Baş kuantum sayısı arttıkça elektron çekirdekten uzaklaşır.

II. Açısal momentum kuantum sayısı, orbitalleri alt kabuk denilen gruplara böler.

III. Manyetik kuantum sayısı, orbitalin uzaydaki yönelimini gösterir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

30. Atom teorileri birbiriyle ilişkili olarak geliştirilmiştir.

Buna göre

I. Thomson'un $\frac{e}{m}$ tayini

II. Rutherford'un saçılma deneyi

III. Heissenberg'in Belirsizlik İlkesi

olaylarından hangileri Bohr'un atom modelini geliştirmesinde etkili olmuştur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III

D) II ve III E) I, II ve III

31. Kararsız atom çekirdekleri α, β, ve γ ışımaları gibi bozunma olayları gerçekleştirerek kararlı hale geçer.

Bu metne göre aşağıdakilerden hangisine ulaşılabilir?

A) Bütün atom çekirdekleri kararsızdır.

B) Kararlı atom çekirdekleri kendiliğinden ışıma yapabilir.

C) Bazı atom çekirdekleri çeşitli yollarla ışıma yapabilir.

D) Kararsız atomlarda sadece α, β, ve γ bozunması olur.

E) Atom çekirdekleri α, β, ve γ ışımaları yaparak kararsız hâle geçer.

32. Madde ve antimaddeyle ilgili

I. Kütleleri eşit büyüklüktedir.

II. Gerekli koşullarda bir araya geldiklerinden birbirini yok ederler.

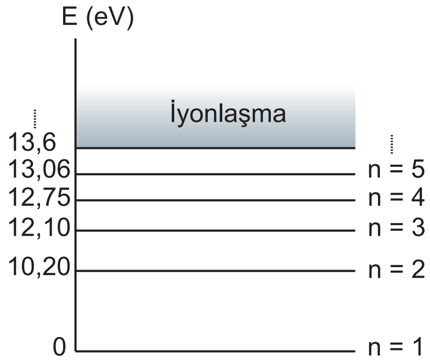
III. Elektriksel olarak aynı işaretle yüklüdürler.

verilenlerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III

D) II ve III E) I, II ve III

33. Enerji seviyeleri şekilde verilen hidrojen atomu 13,5 eV kinetik enerjili elektronlarla bombardıman ediliyor.



Buna göre atomu terk eden elektronun kinetik enerjisi kaç eV olamaz?

A) 0,44 B) 0,65 C) 0,75

D) 1,40 E) 3,30

34. I. Yüklü oldukları için elektrik ve manyetik alanda sapma gösterir.

II. Radyoaktif elementlerden yayılan kütleli parçacıktır.

III. Enerji taşır.

Yukarıdakilerden hangileri α, β ve γ ışınlarının ortak özelliklerindendir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) II ve III E) I, II ve III

35. Aşağıda verilen bilim insanlarından hangisi atom fiziği konusunda çalışma yapmamıştır?

A) Feza Gürsey

B) Asım Orhan Barut

C) Ervin Schrödinger

D) Thomas Young

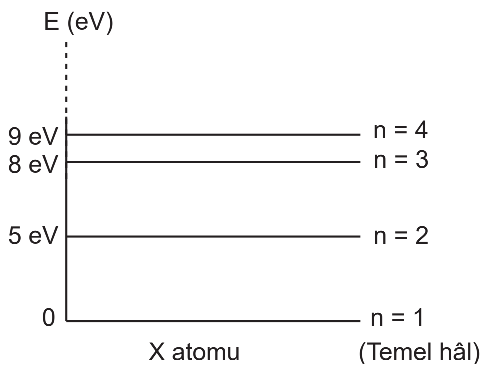
E) Behram N. Kurşunoğlu

D) Aşağıdaki açık uçlu soruların cevabını boş bırakılan alana yazınız.

36. **Bohr, elektronların atom çevresinde dolanırken ışıma yapmamasını nasıl açıklamıştır?**

Çözüm

37. X atomunun bazı enerji seviyeleri verilmiştir.



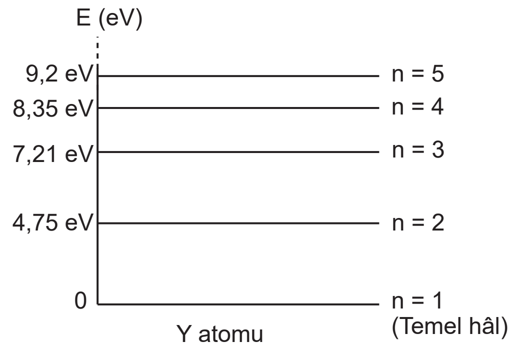
Buna göre 4. enerji seviyesine uyarılmış X atomu temel hâle gelirken yapılabilecek ışımaların enerjilerini yazınız?

Çözüm

38. **Elektromanyetik kuvvet ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfederek Nobel ödülü kazanan bilim insanları kimlerdir?**

Çözüm

39. Bazı enerji seviyeleri verilen Y atomu temel hâldeyken 9,2 eV enerjili fotonlarla uyarılıyor.



Buna göre elektron temel hâle dönerken yapılabilecek ışımalardan kaç tanesi Lyman serisinde olur?

Çözüm

40. **Bohr atom modeline göre elektronlar çekirdek etrafında kararlı yörüngelerde bulunur. Modern atom teorisi elektronların çekirdek etrafındaki konumunu nasıl açıklamıştır? Kısaca yazınız.**

Çözüm

41. **Thomson, Rutherford ve Bohr atom teorilerinin atomun yapısı hakkındaki ortak görüşleri nelerdir?**

Çözüm

5. ÜNİTE

MODERN FİZİK



Bu ünitede Michelson-Morley deneyinin amacı ve sonuçları açıklanıp Einstein'ın özel görelilik teorisinin postülaları ifade edilerek göreli zaman ve göreli uzunluk kavramları ile kütle-enerji eşdeğerliği açıklanacaktır.

Siyah cisim ışıması, foton kavramı ve fotoelektrik olayı açıklanıp farklı metaller için maksimum kinetik enerji-frekans grafiğinin çizilmesi sağlanacaktır. Fotoelektronların sahip olduğu maksimum kinetik enerji, durdurma gerilimi ve metalin eşik enerjisi arasındaki matematiksel ilişki ile fotoelektrik olayının günlük hayattaki olumlu ve olumsuz etkileri üzerinde durularak fotoelektrik olayıyla ilgili hesaplamalar yapılacaktır.

Compton olayında foton ve elektron etkileşimi açıklanarak, Compton ve fotoelektrik olaylarının benzer yönleri belirtilerek ışığın tanecik doğası hakkında çıkarım yapılması sağlanacaktır.

Işığın ikili doğası ile madde ve dalga arasındaki ilişki açıklanacaktır.

1. BÖLÜM

ÖZEL GÖRELİLİK

Konular

Anahtar Kavramlar

- Özel Görelilik

- **Zamanda yolculuk mümkün müdür?**
- **Aralarında yaş farkı olan ikiz kardeş olabilir mi?**

Bu bölümde Michelson-Morley deneyinin yapılışı ve deneyin farklı bilim insanları tarafından farklı koşullarda çok kez tekrarlanmasının nedenleri üzerinde durulacaktır. Bilimde sabır ve kararlılığın kazandırdıklarından bahsedilerek Einstein'ın özel görelilik teorisinin postülaları hakkında bilgi verilecektir.

Göreli zaman ve göreli uzunluk kavramları ile kütle-enerji eşdeğerliği açıklanacaktır.



5.1.1. Michelson-Morley Deneyi

John C. Maxwell (Con Maksvel) tarafından 1861 yılında ışığın bir elektromanyetik dalga olduğunun ispatlanmasından sonra bazı bilim insanları, mekanik dalgaların yayılması için nasıl maddesel bir ortama ihtiyaç duyuluyorsa elektromanyetik dalgaların yayılması için de maddesel bir ortama ihtiyaç olduğunu düşünmüş ve uzayın ether adı verilen bir ortamla dolu olduğunu öne süren ether hipotezini ortaya atmışlardır. Bu hipoteze göre evren tamamen ağırlığı olmayan bir maddeyle doludur ve evrendeki her şey bu maddenin içindedir.



Görsel 5.1: *Albert A. Michelson*

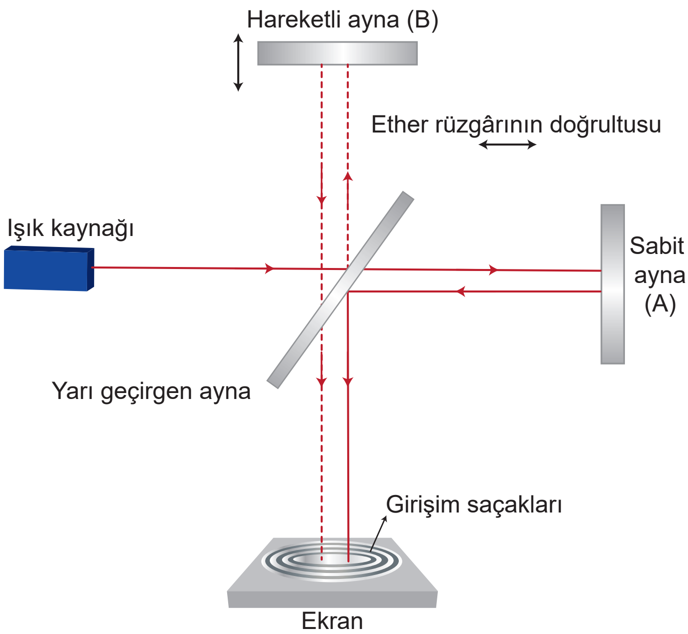
Bilim insanlarına göre evreni dolduran bir ether ortamı varsa ortamda yapılan hareketler, suya atılan bir taşın su ortamında dalgalanmalara sebep olduğu gibi etherde de dalgalanmalara sebep olmalıdır. Dünya'nın Güneş çevresinde yaptığı dönme hareketi etherde dalgalanmalara neden olmalı ve Güneş'ten gelen ışınlar, dalgalanma doğrultusunda ve zıt yönde hareket ediyorsa bir dirençle karşılaşıp hızını azaltmalıdır.

Farklı doğrultularda hareket eden ışının farklı hız değerlerinin olması etherin varlığının ispatı olduğunu düşünen Albert Abraham Michelson (Albert Abraham Mişelson) (Görsel 5.1) ve Edward Morley (Edvırd Morley) (Görsel 5.2) ışık hızındaki değişimleri ölçmek ve ether ortamının varlığını ispatlamak için 1887 yılında ünlü Michelson-Morley deneyini yapmışlardır. Deneyde A. A. Michelson tarafından keşfedilen Michelson girişimölçerini (interferometre) kullanmışlardır.



Görsel 5.2: *Edward Morley*

Girişimölçerler, tek renkli ışığı bir yarı geçirgen ayna yardımıyla iki ışık demetine ayırıp bu ışınların tekrar birleşmesiyle ekranda girişim deseninin oluşmasını sağlayan düzeneklerdir (Şekil 5.1). Girişimölçerler, dalga boylarının doğru ölçümlerinde veya bazı hassas uzunluk ölçümlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 5.1: *Michelson girişimölçerinin şematik görünümü*

Ayrılan iki ışık demetinin eşit miktarda yol almasını sağlayacak şekilde aynaları ayarlanmış Michelson girişimölçeri çalıştırıldığında gözlenen olaylar aşağıda verilmiştir.

- Yarı geçirgen çift taraflı aynaya gönderilen ışığın bir bölümü yansırken bir bölümü geçer ve geçen ışınlar A aynasına ulaşır. Bu aynadan yansıyan ışık, tekrar yarı geçirgen aynadan yansıyarak ekrana ulaşır.

- Yarı geçirgen aynaya gönderilen ve aynadan yansıyan diğer ışık demeti B aynasına ulaşır. Bu aynadan yansıyan ışık, çift taraflı yarı geçirgen aynadan geçerek ekrana ulaşır.

Işınlar ekrana ulaştığında bir girişim deseni meydana getirir. Dünya ether ortamıyla aynı doğrultuda hareket ettiğinde hareket doğrultusunda gönderilen ışığın hızı ortam dolayısıyla değişmeli; Dünya'nın hareketine dik olarak gönderilen ışığın hızı etherden etkilenmediğinden değişmemeli ve bu iki ışık demeti ekran üzerine düşürüldüğünde ise farklı girişim desenleri oluşmalıydı. Ancak ekranda farklı girişim desenlerinin oluşmadığını gördüler. Daha sonra deney düzeneği 90° döndürülerek tekrar yapıldı ve sonucun değişmediği görüldü. Işığın farklı doğrultudaki eşit uzunluktaki yolları alma süresinde bir değişiklik olmadığından etherin varlığını gösteren bir kanıt ortaya konulamadı.

Michelson ve Morley sabır ve kararlılık içinde 1929 yılına kadar 42 yıl boyunca ether rüzgârının doğrultu ve şiddet değiştirmesini beklедikleri için yılın değişik zamanlarında ve farklı coğrafik bölgelerde deneylerini tekrarladılar. Fakat sonuç hep aynı oldu. Beklenen saçak kayması gözlenemedi.

Michelson-Morley deneyinin bu şekilde sonuçlanmasına Dünya'nın ether ile sürüklenmesinin neden olabileceğine inanan bazı bilim insanları da Dünya'nın farklı yerlerinde Michelson-Morley deneyini birçok kez tekrarladılar. Ancak saçak kayması hiçbir zaman gözlenemedi.

Michelson-Morley deneyi sonucuna göre

1. Ether hipotezinin geçerli olmadığı ispatlandı.

2. Boşluktaki ışık hızının her doğrultu ve yönde aynı değere sahip olduğu ortaya konuldu.

3. Işığın yayılmak için hiçbir ortama gerek duymayan bir elektromanyetik dalga olduğu görüşü ağırlık kazanmıştır.

Daha sonraki yıllarda Michelson-Morley deneyinin sonucu, Einstein tarafından farklı bir şekilde yorumlanarak özel görelilik teorisinin önermelerinden biri hâline getirildi.

Örnek

Michelson-Morley Deneyi'nin yapılış amacını açıklayınız?

Çözüm

Mekanik dalgaların yayılması için maddesel bir ortama ihtiyaç vardır. Elektromanyetik dalgaların yayılması için de ether adlı bir ortamın olması gerektiği düşüncesinden yola çıkılarak etherin varlığını ispatlamaya çalışmaktır.

Sıra Sizde - 1

Michelson-Morley deneyi ışık ile ilgili önemli bilgiler açığa çıkarmıştır.

Buna göre

I. Ether ortamı yoktur.

II. Işık hızı kaynağın hareketine bağlı değildir.

III. Işık boşlukta da yayılabilir.

ifadelerinden hangileri bu deneyin sonuçlarındandır?

Çözüm

5.1.2. Özel Görelilik Kuramı

Copernicus (Kopernik), Kepler, Tycho Brahe (Tayko Bırahe) ve Gelileo'nin yaklaşık yüz elli yıllık süreçte evrenin işleyişiyle ilgili yapılan çalışmalar, Newton tarafından sentezlenerek insanlığın bilgisine sunulmuştur. Newton, tüm gök cisimlerinin hareketlerinin yanı sıra yeryüzündeki nesnelerin hareketlerini de açıklayan bir bilimsel kuram ortaya koymuştur.

Newton mekaniğine göre uzay ve zaman kavramları tüm eylemsiz referans sistemlerinde değişmezlik gösterirken ulaşılabilecek hızın bir üst sınırı yoktur. Duran ya da düzgün doğrusal hareket yapan sistemlere **eylemsiz referans sistemi** denir.

20. yüzyılın başlarında mikro evrene ilişkin yeni gözlemsel bulgular, 200 yıllık etkisini sürdüren klasik modeli çaresizlik içinde bırakmış ve yeni bir model arayışını zorunlu kılmıştır. Yüksek hızlarda gerçekleşen fiziksel süreçler Newton mekaniğinin öngörülerine uymamaktadır. Hareket yasaları düşük hızlarda doğru olmakla birlikte ışık hızına yaklaşan noktalarda geçerliliğini yitirmektedir.

Michelson-Morley deneyi sonucuna göre Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketinin ışık hızını değiştirmemesi ya da sabit hızla hareket eden bir araç içerisindeki durgun gözlemcinin yukarı yönde düşey attığı topun tekrar eline düştüğünü gördüğü anda araç dışındaki durgun bir gözlemci de topun araç içindeki gözlemcinin eline düştüğünü görür. Bu gibi olaylar bilim insanlarında "Işığın hızı her eylemsiz sistemde neden aynı görünür?" sorusunun cevaplanmasını zorunlu kılmıştır.

Yapılan deneyler ile ışık hızının; ışık kaynağının ya da gözlemcinin hareketinden bağımsız olduğu ve ışığın her koşulda c ışık hızıyla hareket ettiği görüldü.

1905 yılında Einstein özel görelilik kuramını açıklar. Einstein, özel görelilik kuramını sadece eylemsiz gözlem çerçevesinde açıkladığı için **özel görelilik kuramı** olarak da adlandırılır.

Bu kuram iki postülayla açıklanabilir.

1. Postüla: Fizik yasaları tüm eylemsiz (ivmesiz) referans sistemlerinde aynıdır.

2. Postüla: Işık hızı, gözlemci ve ışık kaynağının hızından bağımsızdır, tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır. Işık boşlukta $2{,}99792458 \cdot 10^{8}$ m/s (yaklaşık $3 \cdot 10^{8}$ m/s) hızla hareket eder.

Einstein, Lorentz dönüşümlerini kullanarak Newton mekaniğinin temeli olan mutlak uzay (uzunluk) ve mutlak zamanın var olmadığını ortaya koymuştur. Einstein, zamanın ve uzunluğun gözlemcinin kullandığı gözlem sisteminin hızına bağlı olarak değiştiğini göstermiş, momentum ve enerji tanımlarına farklı bir bakış açısı getirmiştir.

Örnek

Modern fiziğin gelişmesinde önemli bir yeri olan Einstein'ın özel görelilik kuramının temel postülaları

I. Fizik yasaları tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır.

II. Işık hızı, gözlemci ve ışık kaynağının hızından bağımsızdır ve tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır.

III. Işığın yayılması için maddesel ortama ihtiyaç vardır.

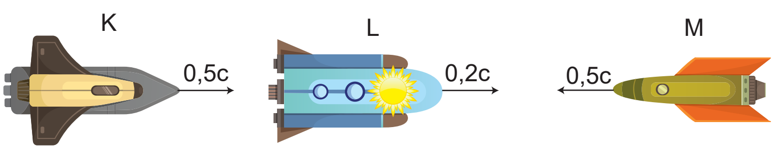
verilenlerden hangileridir?

Çözüm

I ve II. öncüller Einsten'ın özel görelilik kuramının postülalarındandır. Işığın yayılması için maddesel bir ortama ihtiyaç yoktur. Bu nedenle III. öncül yanlıştır.

Örnek

Hızlarının büyüklükleri sırasıyla 0,5c, 0,2c ve 0,5 olan K, L ve M araçları şekildeki gibi hareket etmektedir.



L aracının üzerindeki ışık kaynağından c hızıyla yayılan ışığın hızını K aracındaki gözlemci ϑ_K, M aracındaki gözlemci ϑ_M olarak ölçtüğüne göre c, ϑ_K ve ϑ_M arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

Çözüm

Einstein'ın özel görelilik kuramının 2. postülasına göre ışık hızı, gözlemci ve ışık kaynağının hızından bağımsız olarak tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır. Bu nedenle $c = \vartheta_K = \vartheta_M$ olur.

Sıra Sizde - 2

Michelson-Morley deneyi ile Einstein'ın özel görelilik kuramı arasındaki ilişkisi nedir?

Çözüm

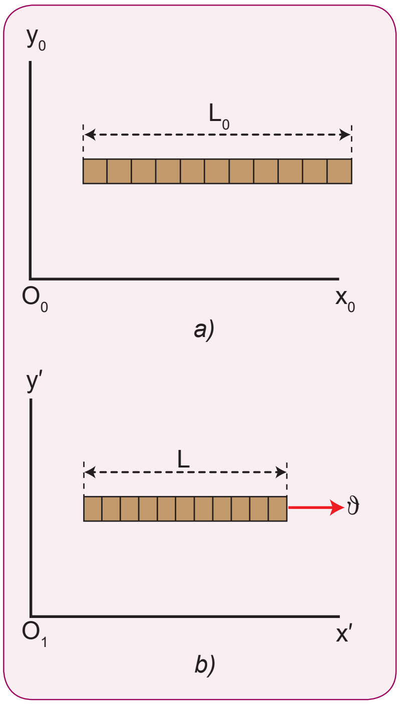
5.1.3. Göreli Uzunluk ve Göreli Zaman Kavramları

Göreli Uzunluk

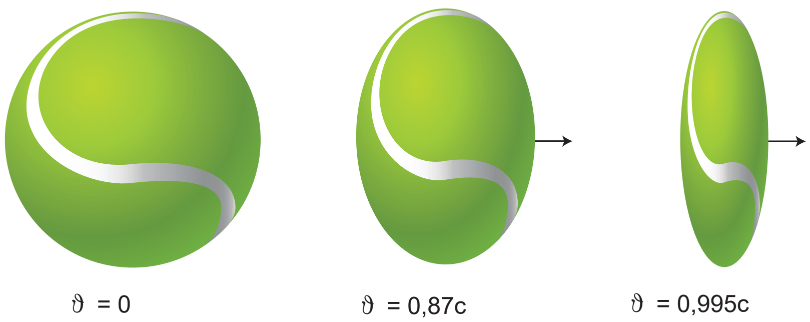
Lorentz dönüşümlerinin uzayla ilgili ortaya koyduğu sonuçlardan biri de hareket eden cisimlerin hızları arttıkça boylarının değişeceğiyle ilgilidir. Bir cismin durgun olduğu referans sisteminde ölçülen uzunluğuna **mutlak uzunluk** denir. Mutlak uzunluk hareketli bir gözlem çerçevesinde farklı ölçülür. Hareketli gözlem çerçevesinde ölçülen bu farklı uzunluğa **göreli uzunluk** denir.

Durgun bir gözlemci, L_0 olarak ölçtüğü çubuğun boyunu (Şekil 5.2: a) ışık hızına yakın ve çubukla aynı doğrultuda ϑ hızıyla hareket ettiğinde L_0 dan daha kısa bir L uzunluğunda ölçer (Şekil 5.2: b). Bu olaya **uzunluk büzülmesi** denir.

Uzunluk büzülmesi sadece cismin hareket doğrultusunda meydana gelir. Hareket doğrultusuna dik boyda büzülme olmaz. Bir tenis topu ışık hızına yakın hızlarda hareket ederse topun görünümü Şekil 5.3'teki gibi olur.



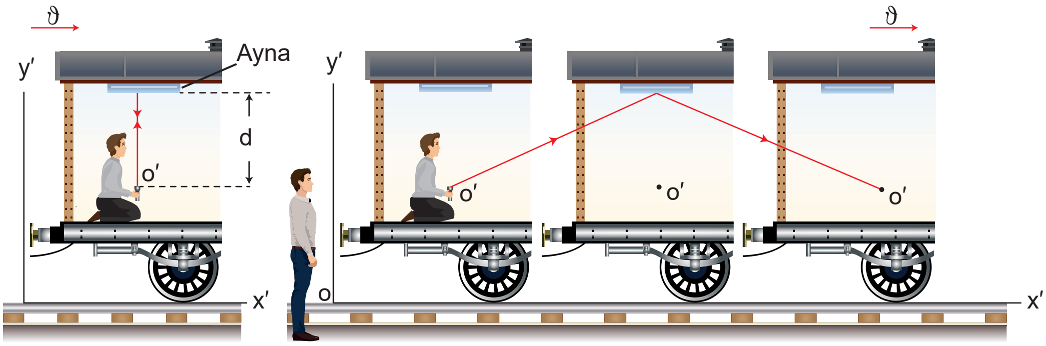
Şekil 5.2: *a) Durgun cisim b) Rölativistik hızla hareket eden cisim*



Şekil 5.3: *Tenis topunun rölativistik hızına göre hareket doğrultusundaki çapında meydana gelen kısalma*

Göreli Zaman

Einstein, ışık hızının hep aynı ölçülebilmesi için farklı gözlem çerçevelerinde zamanın farklı akması gerektiğini düşünür. Işık hızına yakın hızlarla hareket eden araç içinde ışığın hızının yine c değerinde ölçülebilmesi için araç içindeki zamanın daha yavaş akması gerektiğini ifade eder. Einstein'ın bu düşüncesi Şekil 5.2'de tavanına ayna yerleştirilmiş ϑ büyüklüğünde sabit hızla hareket eden vagon düşünülerek gösterilebilir. Vagona göre durgun O′ gözlemcisi (Şekil 5.4: a) elindeki kaynaktan çıkan ışığın 2d yol aldığını gözlemlerken yerde bulunan durgun O gözlemcisi aynı sürede ışığın 2d den daha fazla yol aldığını gözlemler (Şekil 5.4: b). Işık hızı tüm referans sistemlerinde c olduğuna göre O′ gözlemcisi için geçen sürenin O gözlemcisi için geçen süreye göre daha az olması gerekir. Bu durum hareketli vagon içerisindeki O′ gözlemcisi için zamanın daha yavaş aktığını gösterir.



Şekil 5.4: *a) Vagon içerisindeki durgun gözlemci b) Yere göre durgun gözlemci*

Bir olayın gerçekleştiği durgun gözlem çerçevesinde ölçülen zaman aralığına **mutlak zaman** denir. Aynı zaman aralığı hareketli bir gözlem çerçevesinde daima farklı ölçülür. Hareketli gözlem çerçevesinde ölçülen bu farklı zaman aralığına **göreli zaman** denir.

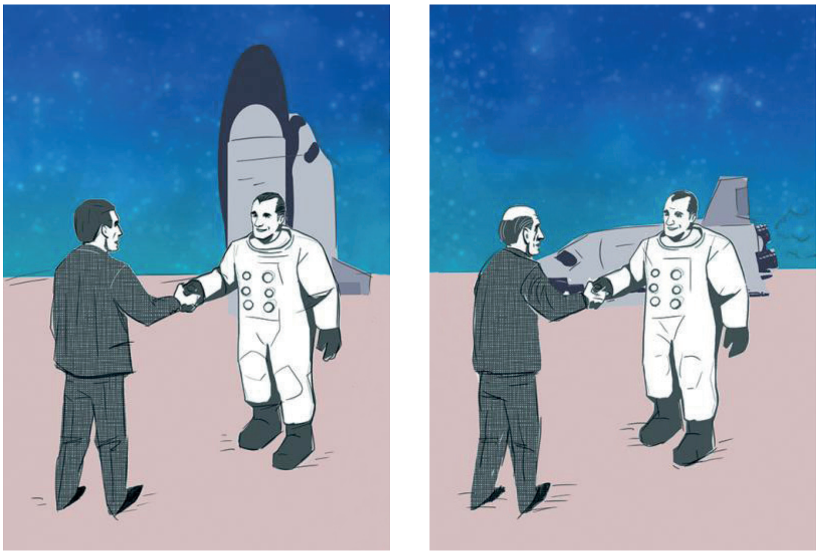
Eş zamanlı olarak kurulan iki farklı saatten biri yüksek hızla hareket ettirildiğinde zaman yavaşladığından saat geri kalır. Bu durum atomik kronometreler kullanılarak deneysel olarak kanıtlanmıştır. Sonuç olarak durgun bir gözlemciye göre hareket hâlindeki bir saat, durgun bir saate göre daha yavaş çalıştığı görülür. Bu olaya **zaman genişlemesi** denir.

Zamanın hareketli cisimlerde yavaşlamasına bir örnek de parçacık hızlandırıcılarıdır. Normal şartlarda iki parçacık çarpıştığında ortaya çıkan yeni parçacıklar gözlemlenemeyecek kadar büyük bir hızla kaybolur. Ancak bu parçacıklar hızlandırılırsa parçacığın zamanı gözlemciye göre daha yavaş geçecek ve gözlemcinin bu parçacıkları gözlemlemesine yetecek kadar zaman kalacaktır. Bir başka ifadeyle gözlemciye göre olayın gerçekleşme süresi uzamış olacaktır.

İkizler Paradoksu

Doğruluğu ve yanlışlığı kanıtlanabilen düşüncelere **paradoks** denir. Fiziğin en ünlü paradokslarından biri olan ikizler paradoksu zaman genişlemesinin ilginç bir sonucudur.

İkiz kardeşler Ahmet ve Ali 25 yaşındadır. Ahmet görev gereği Dünya'dan 20 ışık yılı uzaklıktaki X galaksisini yakından görüntülemek için ışık hızına yakın bir hızla uzaya gönderilir. Ali, Dünya'da kalır (Şekil 5.5: a). Ahmet, Dünya'ya döndüğünde ikizi Ali'den daha gençtir (Şekil 5.5: b).



a) *b)*

Şekil 5.5: *a, b) İkizler paradoksu*

Bu olaydaki paradoks, "İkizlerden hangisi ışık hızına yakın bir hızla hareket etmiştir?" şeklindeki sorudur.

Ali'nin referans sisteminden bakıldığında Ahmet büyük bir hızla yolculuk yaparken kendisi durgun kalmıştır. Ahmet'in referans sisteminden bakıldığında ise Ali ve Dünya yüksek bir hızla kendisinden uzaklaşmaktadır. Dünya'nın dönüş hareketleri ihmal edildiğinde eylemsiz referans sistemi içindeki Ali'ye göre Ahmet, Dünya'ya döndüğünde daha gençtir.

5.1.4. Kütle-Enerji Eşdeğerliği

20. yüzyıl fiziğinde çığır açan Einstein'ın fizik yasaları ve ışık hızının tüm referans sistemlerinde aynı olduğu şeklindeki varsayımından hareketle geliştirdiği kütle-enerji eşdeğerliği, kendisiyle adeta bütünleşmiş $E = m \cdot c^2$ formülüyle ifade edilir.

Yukarıdaki eşitlik madde ile enerjinin birbirine dönüşebileceğini ifade eder. m kütleli bir madde ışık hızına ulaştığında $E = m \cdot c^2$ büyüklüğünde bir enerji açığa çıkar. Bu bağıntıdaki c ışık hızı, çok büyük bir değere sahip olduğu için küçük bir madde kütlesinin yok olması büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasına sebep olur.

Denklemin en önemli uygulama alanı, çekirdek ve parçacık fiziğidir. Çekirdek dönüşümlerinde ortaya yüksek enerjili fotonlar çıkar ve çekirdekten ayrılır. Bu da geride kalan çekirdeğin kütlesinin ayrılan enerjinin eşdeğeri kadar küçülmesi demektir.

Örnek

İkizler paradoksundan nasıl bir sonuca ulaşılabilir?

A) Uzunluklar görelidir.

B) Yörüngeler kuantumludur.

C) Kütle görelidir.

D) Zaman görelidir.

E) Işığın hızı boşlukta sabittir.

Çözüm

Belirli bir zaman aralığı, durgun ve hareketli referans sistemlerinde farklı ölçülür. İkizler paradoksunda da durgun referans sistemi olarak kabul edilen Dünya'daki ikizlerden biriyle ışık hızına yakın bir hızla hareket eden diğerinin belirli bir süre sonra yaşlarının farklı olması zaman göreliliğinden kaynaklanır. Doğru cevap D seçeneğidir.

Sıra Sizde - 3

Özdeş X, Y ve Z çubukları şekilde verilen hızlarla hareket ettiriliyor.



a) **Durgun bir gözlemci tarafından ölçülen boyları L_X, L_Y ve L_Z arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?**

b) **X, Y ve Z çubuklarının farklı boylarda ölçülmesinin sebebi nedir?**

Çözüm

Sıra Sizde - 4

Aşağıda numaralar ile verilen ifadeleri, harf ile verilen ifadelerle eşleştiriniz.

1. Belirli bir zaman aralığının hareketli gözlem çerçevesinde farklı ölçülmesine denir. ( )	**a)** paradoks
2. Bir cismin durgunken ölçülen boyunun hareketli gözlem çerçevesinde farklı uzunlukta ölçülmesine denir. ( )	**b)** göreli zaman
3. Kendi içinde çelişkili gözüken hem doğruluğu hem de yanlışlığı kanıtlanabilen düşüncelere verilen addır. ( )	**c)** göreli uzunluk

Çözüm

Sıra Sizde - 5

Bir astronot ışık hızına yakın, sabit bir hızla hareket eden uzay mekiğinde kolundaki saatle mekik içindeki başka bir saatin aynı zamanı gösterdiğini görür. Dünya'daki merkez ile konuştuğunda oradaki saatlerin daha ileride olduğunu öğrenir.

Mekikteki saatler ile Dünya'daki saatlerin farklı olmasının sebebi nedir? Kısaca açıklayınız.

Çözüm

Sıra Sizde - 6

Çekirdek tepkimelerinde etrafa yüksek enerjili fotonlar yayılır. Fotonun kütlesi olmamasına rağmen geride kalan çekirdek kütlesinin azaldığı görülür.

Yukarıdaki olayın kütle-enerji eşdeğerliği ile bir ilişkisi var mıdır? Kısaca açıklayınız.

Çözüm

2. BÖLÜM KUANTUM FİZİĞİNE GİRİŞ

Konular

5.2.1. Siyah Cisim Işıması

Anahtar Kavramlar

- Siyah cisim ışıması

- **Çevrenizdeki cisimlerin ışıma yaptığını biliyor musunuz? Bunun sebebi ne olabilir?**
- **Bir cismin yaptığı ışımadan yararlanarak sıcaklığı tespit edilebilir mi?**

Bu bölümde Planck hipotezi açıklanacak, dalga boyu-ışıma şiddeti grafiğinden hareketle klasik yaklaşımla modern yaklaşımın çelişkisi ve bu çelişkinin kuantum fiziğinin doğuşuna etkisi üzerinde durulacaktır.



5.2.1. Siyah Cisim Işıması

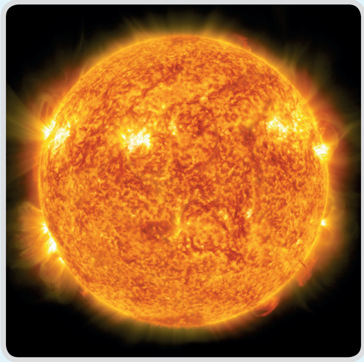
Sıcaklığı mutlak sıcaklığın üstünde olan bütün maddeler, elektromanyetik ışıma yapar. Bu ışıma, madde hangi fiziksel hâlde olursa olsun maddeyi oluşturan taneciklerin titreşim hareketi yapması sonucunda meydana gelir. Maddelerin yaydığı elektromanyetik ışımanın etkisi taneciklerin titreşim hareketinin şiddetine, taneciklerin titreşim hareketinin şiddeti de maddenin sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Maddenin sıcaklığına bağlı olarak farklı frekanslarda ışıma yapmasına **termal ışıma** denir.

Üzerine düşen ışığın tamamını soğuran ve sıcaklığa bağlı olarak her dalga boyunda ışıma yapan cisimlere **siyah cisim** denir. Siyah cisimler tarafından cismin sıcaklığına bağlı olarak yapılan ışımaya da **siyah cisim ışıması** denir. Güneş ve yıldızların yaptığı ışıma, kor hâline gelmiş kömür parçaları arasındaki ışıma (Görsel 5.4), yüksek sıcaklığa kadar ısıtılan demirden yayılan ışıma (Görsel 5.5) siyah cisim ışımasına örnek olarak gösterilebilir. Siyah cisimler görünür bölgede kırmızı ışıma yaparken cismin sıcaklığı arttıkça turuncu, sarı, yeşil ve maviye doğru değişen ışımalar yapar.

Meraklısına Bilgi

Kara cisimlerin mutlaka siyah cisim olması gerekmez. Güneş'in yüzeyi gelen ışınımların çok küçük bir kısmını yansıttığından kara cisim olarak değerlendirilir.



Görsel 5.3: *Güneş'in ışıması*



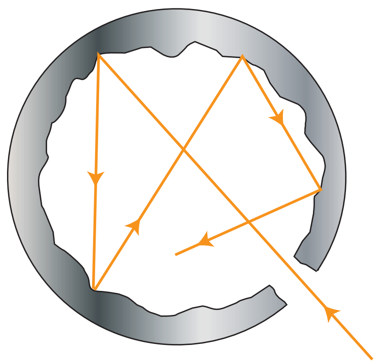
Görsel 5.4: *Kor hâlindeki kömürün ışıması*



Görsel 5.5: *Yüksek sıcaklıktaki demirin ışıması*

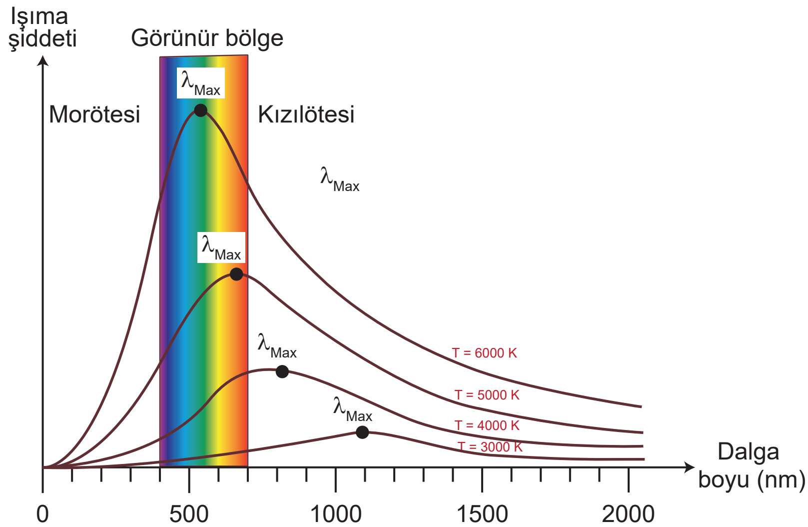
Duvarında küçük bir boşluk açılmış içi boş bir cisim, siyah cisim gibi davranır (Şekil 5.6). Bu cismin içine gelen ışınlar çoklu yansıma sonucunda tamamen soğurulur. Oyuktan çıkan ışın sadece duvardaki yüklerin termal hareketinden kaynaklanır. Bu ışıma siyah cisim ışımasıdır.

Yapılan deneyler ile siyah cisimlerin bütün dalga boylarında ışıma yaptığı, bazı dalga boylarında ise ışımanın daha büyük şiddette olduğu kanıtlandı. Işımanın maksimum şiddette olduğu dalga boyu ise cismin sıcaklığıyla ters orantılı olarak azalır.



Şekil 5.6: *Siyah cisim modeli*

Siyah cisimlerin yaptığı ışımanın, sıcaklığın artışıyla ışınım şiddetinin, ışınımın dalga boyuna bağlı değişim grafiği Şekil 5.7'deki gibidir.



Şekil 5.7: *Farklı sıcaklıklar için siyah cismin ışınım şiddetinin ışınımın dalga boyuna bağlı değişim grafiği*

Simülasyon

Farklı sıcaklıklar için siyah cismin ışınım şiddetinin, ışınımın dalga boyuna bağlı değişimini karekoddan yararlanarak inceleyiniz.

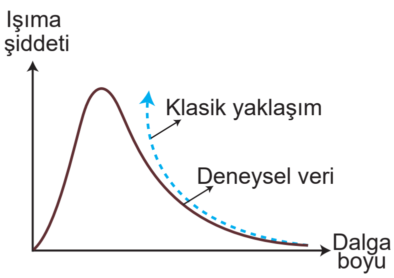
Grafikten aşağıdaki çıkarımlar yapılır.

1. Sıcaklık arttıkça ışıma şiddeti artar, yayınlanan ışınımın dalga boyu küçülür ve ışıma şiddetinin maksimum olduğu tepe noktası daha kısa dalga boyuna doğru yaklaşır. Bu durum matematiksel olarak Wien kayma yasasıyla (Wien yer değiştirme yasası) ifade edilir.
   T ışınımı yapan cismin sıcaklığı ve eğrinin tepe noktasına karşılık gelen en büyük dalga boyu λ_{Max} olmak üzere bu yasa

   $\lambda_{Max} \cdot T = 0{,}2898 \times 10^{-2}\ m \cdot K$ şeklinde ifade edilir.

2. Cismin sıcaklığı arttıkça yayınladığı ışımanın frekansıyla birlikte ışınım gücü de artar. Işıma şiddetinin ışınımın dalga boyuna bağlı değişim grafiğinin altında kalan alan, toplam ışıma gücünü verir. Bu nedenle sıcaklık arttıkça grafiğin altında kalan alan dolayısıyla ışıma gücü de artmaktadır.

Klasik yaklaşıma göre cismin yapacağı ışıma şiddeti, frekansa bağlı olarak sürekli artış göstermelidir (Şekil 5.8). Bu durum ışınımın dalga boyu küçüldükçe maddenin yayacağı enerjinin sonsuz bir değere yaklaşması demektir.



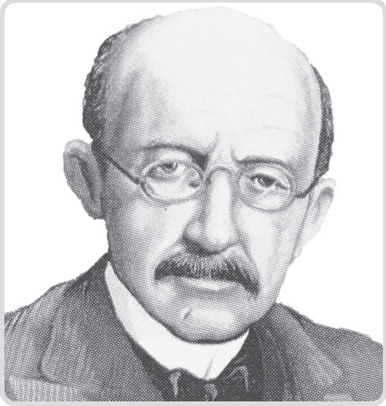
Şekil 5.8: *Farklı sıcaklıklar için siyah cismin ışınım şiddetinin ışınımın dalga boyuna bağlı değişim grafiğinin klasik yaklaşımla karşılaştırılması*

Deneyler sonucunda siyah cisimden yayılan ışımanın dalga boyu ile enerjisi arasındaki ilişki, klasik yaklaşımın öngördüğü sonuçlardan farklı görülür. Klasik yaklaşım, uzun dalga boylarında deneysel verilere oldukça uyumludur. Ancak deneysel verilerde de dalga boyu sıfıra yaklaştıkça ışıma şiddetinin de sıfıra yaklaştığı Şekil 5.8'de görülür. Bu durum kısa dalga boylarında klasik fizik ile deneysel veriler arasında uyumsuzluk olduğunu gösterir.

Morötesi felaket olarak adlandırılan bu uyumsuzluk klasik yaklaşım tarafından açıklanamamış ve kuantum fiziğinin doğmasına sebep olmuştur. Işıma enerjisinin sürekli değil de kesikli olduğu düşünüldüğünde siyah cisim ışıması olayının açıklanabileceğini ifade eden Planck, bu uyumsuzluğa çözüm getirmiştir.

Planck Hipotezi

Fiziğin tarihsel gelişiminde elektromanyetik dalgaları başarılı şekilde açıklayan elektromanyetik teorinin, siyah cisim ışımasını açıklamakta yetersiz kalması, fizik bilimi açısından yeni teori arayışlarının başlamasına neden olmuştur. Bu dönemde Max Planck (Maks Plank, 1858-1947) (Görsel 5.6), enerjinin kuantumlu yayıldığı fikrini açıklamıştır. Bu açıklama kuantum fiziğinin temeli hâline gelmiştir.



Görsel 5.6: *Max Planck*

Akkor hâlindeki katıların yaydığı ışımaları inceleyen Planck'ın bulduğu matematiksel fonksiyon, büyük dalga boylarında klasik fizik yasalarıyla aynı sonuçları verirken küçük dalga boylarında da deneysel sonuçlarla uyum göstermektedir.

Planck hipotezinde iki varsayımda bulundu.

1. Işıma enerjisinin ancak belirli büyüklüklerde yani kuantumlar hâlinde soğurulup yayınlanabileceğini ve ışımanın frekansıyla doğru orantılı olduğunu ifade etmiştir.

Işınım yayan cisimlerden salınan ışınım enerjisi atomun kuantum sayısı n, ışınımın frekansı f ve Planck sabiti h olmak üzere

$E_n = n \cdot h \cdot f$ ifadesiyle bulunur.

Buradan kuantum sayısı adı verilen n pozitif bir tam sayı, $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s büyüklüğünde Planck tarafından bulunan evrensel bir sabittir. Her bir kesikli enerji değeri atom için farklı bir kuantum durumuna karşılık gelir. Örneğin atom n = 1 kuantum durumunda iken enerjisi h·f, n = 2 kuantum durumunda iken enerjisi 2·h·f olur.

2. Atomlar, sonradan foton adını alacak kesikli paketler hâlinde enerji yayar veya soğurur. Bu olay atomların bir enerji düzeyinden bir başka enerji düzeyine geçişi sırasında olur.

Ardışık iki kuantum düzeyi arasındaki enerji farkı

$E = h \cdot f$ eşitliği ile hesaplanır.

Planck, yaptığı çalışmalardan ve siyah cisim ışımasına yaptığı katkıdan dolayı 1918 yılında Nobel Ödülü almıştır.

Meraklısına Bilgi

Einstein, fotoelektrik olayını açıklarken Planck'ın kuanta fikrini kullanmış ve yaptığı bu çalışma ile Nobel ödülünü almıştır.

Meraklısına Bilgi

Bohr, atom teorisi fikrini geliştirirken Planck'ın kuanta fikrinden yararlanmıştır.

Örnek

Siyah cisim ışınımında klasik teoriye karşılık neden kuantumlu bir öneri getirilmiştir?

Çözüm

Klasik fizik, atomların sadece büyük dalga boylarında her frekansta ışıma yaptığını ileri sürerken düşük dalga boylarında sonsuz şiddette bir enerji yaymasını öngörür. Ancak bu durum deneysel sonuçlarla örtüşmediğinden Planck tarafından siyah cisim ışımalarında deneysel sonuçlarla örtüşen kuantumlu bir öneri getirilmiştir.

Sıra Sizde - 7

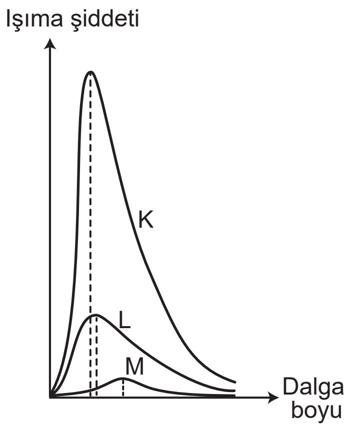
Üzerine düşen ışığın tamamını soğuran ve sıcaklığa bağlı olarak her dalga boyunda ışıma yapan cisimlere siyah cisim denir.

Siyah cisimlerin ışıma yapmasının nedenini kısaca açıklayınız.

Çözüm

Sıra Sizde - 8

K, L ve M cisimlerine ait ışıma şiddeti dalga boyu grafiği verilmiştir.



L cisminin yaptığı ışımanın rengi yeşil ise K ve M cisimlerinin yaptığı ışımanın rengi aşağıdakilerden hangisi gibi olamaz?

	K	M
A)	Mavi	Kırmızı
B)	Mor	Turuncu
C)	Mavi	Sarı
D)	Sarı	Kırmızı
E)	Mor	Sarı

Çözüm

3. BÖLÜM

FOTOELEKTRİK OLAYI

Konular

Anahtar Kavramlar

- Fotoelektrik olayı

- **Sokak lambalarının havanın kararmasıyla kendiliğinden yanıp havanın aydınlanmasıyla kendiliğinden sönmesinin sebebi ne olabilir?**
- **Otomatik kapılara yaklaşıldığında kapıların kendiliğinden açılmasının nedenini hiç düşündünüz mü?**

Bu bölümde foton kavramı ve fotoelektrik olayı açıklanıp Hertz'in çalışmaları ve Einstein'ın fotoelektrik denklemi üzerinde durularak fotoelektrik olayına etki eden değişkenler gözlemlenip yorumlanacaktır.

Farklı metaller için maksimum kinetik enerji-frekans grafiğinin çizilmesi sağlanıp fotaelektronların sahip olduğu maksimum kinetik enerji, durdurma gerilimi ve metalin eşik enerjisi arasındaki matematiksel ilişki açıklanacaktır.

Fotoelektrik olayının günlük hayattaki olumlu ve olumsuz etkileri üzerinde durulup fotoelektrik olayıyla ilgili matematiksel hesaplamalar yapılacaktır.



5.3.1. Foton Nedir?

Modern fiziğin önemli çalışma alanlarından biri olan kuantum fiziği; molekülleri, atomları ve atom altı parçacıkların enerjilerini ve bu parçacıkların davranışlarını inceler. Kuantum fiziğinin uğraş alanı içerisinde yer alan pek çok büyüklük, belirli değerler alabilir. Bu tür büyüklüklere **kesikli** veya **kuantumlu** denir.

Max Planck 1900 yılında ışığın kuanta adını verdiği küçük enerji paketlerinden oluştuğunu ileri sürmüştür.

Albert Einstein (1879-1955) (Görsel 5.7) ışığın foton adını verdiği enerji paketleri hâlinde ilerlediğini ifade etmiştir. Einstein'in ileri sürdüğü fikirler, Planck'ın fikirleriyle de uyuşmaktadır. Bir ışık demetinde enerji taşıyan küçük enerji paketlerine **foton** denir.



Görsel 5.7: *Albert Einstein*

Fotonların özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Işık hızıyla hareket eder.
- Kütleleri ve durgun enerjileri yoktur.
- Frekans veya dalga boylarına bağlı olarak enerji ve momentuma sahiptir.
- Soğurulduğunda yok olur.
- Kütlesi olmamasına rağmen madde ile etkileşime girebilir.
- Hiçbir sistemde durgun hâlde bulunamaz.
- Elektrikçe yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alandan etkilenmez.

Einstein'a göre frekansı f olan bir fotonun enerjisi

$E_f = h \cdot f$ şeklindedir.

Fotonun frekansı yerine $f = \frac{c}{\lambda}$ ifadesi yazılırsa fotonun enerjisini dalga boyu cinsinden veren $E_f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ ifadesi bulunur. Böylece

$$E_f = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$ olur.

Fotonun enerjisinin (E) SI'da birimi Joule dür (J). Planck sabitinin değeri $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J · s, frekansın (f) biriminin sn^{-1}, ışık hızının (c) biriminin m/s ve dalga boyunun (λ) biriminin m olarak alınması gerekir. Eğer dalga boyunun birimi Å (Angstron) olarak verilirse $1Å = 10^{-10}$ metre eşitliği kullanılarak metreye dönüştürülebilir.

Bir fotonun enerjisi çok küçük değere sahip olduğu için elektronvolt (eV) cinsinden de ifade edilebilir. Bir elektronun bir voltluk potansiyel farkı altında kazandığı enerjiye **elektronvolt** denir. $1\ eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J dür.

Planck sabitinin birimi eV cinsinden ışık hızının birimi Å cinsinden ifade edilirse (h · c) çarpımı yaklaşık olarak 12 400 eV · Å olarak bulunur.

Bu durumda fotonun enerji denklemi

$E_f = \dfrac{12\,400\ \text{eV} \cdot \text{Å}}{\lambda}$ şekline dönüşür.

Dalga boyunun birimi Å alındığında fotonun enerjisi eV cinsinden bulunur.

Einstein'ın fotonların enerjileri ile ilgili ortaya koyduğu bağıntılara göre bir fotonun enerjisi frekansı ile doğru, dalga boyu ile ters orantılıdır. Frekansı artan fotonun enerjisi artarken dalga boyu artan fotonun enerjisi azalır.

Fotonlar bir enerjiye sahip olduğu gibi momentuma da sahiptir. Einstein bir fotonun momentumunu (P) enerjisine (E_f) bağlı olarak tanımlamış ve

$P = \dfrac{E_f}{c}$ şeklinde ifade etmiştir. $E_f = \dfrac{h \cdot c}{\lambda}$ değeri yerine

konulduğunda fotonun momentumunun dalga boyuna bağlı ifadesi

$P = \dfrac{h}{\lambda}$ şeklinde ifade edilir.

Sıra Sizde - 9

Fotonlar bir ışık demetinde enerji taşıyan küçük parçacıklardır.

Fotonlarla ilgili

I. Enerjileri frekanslarıyla doğru orantılıdır.

II. Yüksüz parçacıklardır.

III. Momentumları vardır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

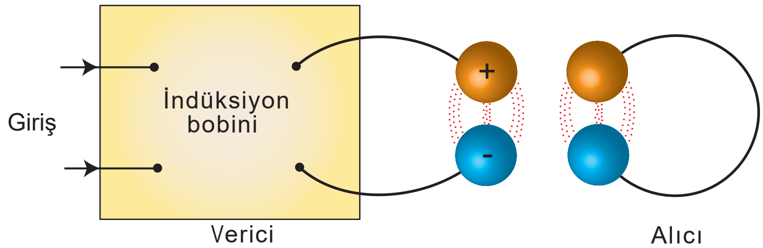
Çözüm

5.3.2. Fotoelektrik Olayı

19. yüzyıl sonlarında yapılan çalışmalarda bazı metallerin üzerine düşürülen ışığın metalden elektron yayınlanmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların başında 1887 yılında Heinrich Rudolf Hertz'in (Henriç Rudolf Hertz, 1857-1894) yaptığı çalışmalar gelir.

Hertz'in oluşturduğu düzenekte aralarında kısa mesafe bulunan küreler, bir indüksiyon bobinine bağlıdır. Bobin sağladığı voltaj ile kürelerden birini pozitif, diğerini negatif yüklü hâle getirir. Kürelerin arasında oluşan elektrik alanının büyüklüğü belli bir değere ulaştığında kıvılcım atması olur ve ivmeli hareket yapan elektronlar, elektromanyetik dalga yayar. Elektromanyetik dalgayı oluşturan fotonlar alıcıdaki küreler tarafından soğurulup elektron yayılmasını sağladığından alıcıda

akım oluşur. Hertz'in oluşturduğu bu düzenek fotoelektrik olayının ilk kez gözlendiği düzenektir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9: *Hertz'in elektromanyetik dalga üretip bu dalgaları algıladığı düzeneğin şematik gösterimi*

Hertz yaptığı deneyler sonucunda ürettiği dalgaların kırınım, kırılma, yansıma ve kutuplanma gibi ışık olaylarını gerçekleştirdiğini kanıtlar. Ayrıca elektromanyetik dalgaların hızlarının ışık hızına eşit olduğu Hertz tarafından ortaya konmuştur.

Bir metal yüzeyine düşürülen ışığın metalden elektron koparması olayına **fotoelektrik olayı**, fotonlar tarafından koparılan elektronlara ise **fotoelektron** denir.

Bir metalin yüzeyine düşürülen her ışık o metalden elektron koparamaz. Elektronların metalden elektron koparabilmesi için sahip olması gereken en küçük enerjiye **eşik enerjisi** (E_0) denir. Tablo 5.1'de bazı metallerin eşik enerjileri verilmiştir.

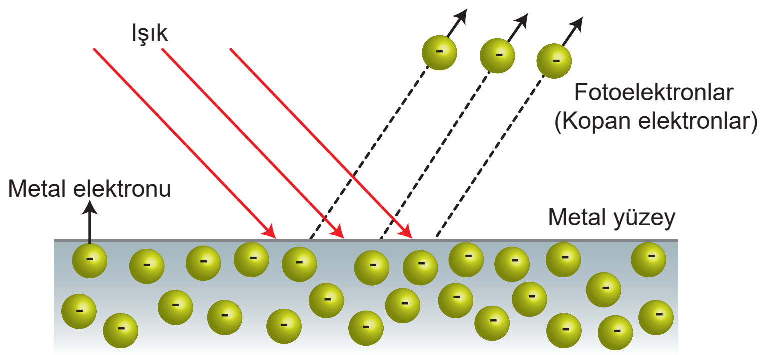
Tablo 5.1: *Bazı Metallerin Eşik Enerjileri*

Metal Cinsi	Eşik Enerjisi (eV)
Sodyum	2,6
Bakır	4,70
Gümüş	4,73
Demir	4,14
Alüminyum	4,08
Çinko	4,31
Platin	6,35
Demir	4,50

Bir fotonun enerjisi ne kadar yüksek olursa olsun bu enerji tek elektrona aktarılır ve elektron metal yüzeyden koparılır.

Fotoelektrik olayı ile ilgili pek çok çalışma yapılsa da en başarılı çalışma 1905 yılında Einstein tarafından yapılmıştır.

Einstein'ın fotoelektrik modeline göre bir fotonun enerjisi (E_f) metalin eşik enerjisinden (E_0) büyük ise fotonun enerjisinin eşik enerjisi kadarlık kısmı ile elektron koparılır, kalan enerji koparılan elektrona kinetik enerji (E_K) olarak aktarılır (Şekil 5.10). Böylece foton soğurulmuş olur. Bu durum $E_f = E_0 + E_K$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 5.10: *Gelen fotonların metal yüzeyinden elektron koparması*

Fotoelektrik olayını etkileyen değişkenlerin neler olduğunu incelemek için "Fotoelektrik olayını etkileyen değişkenler" etkinliğini yapınız.

ETKİNLİK

1. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı	Fotoelektrik olayını etkileyen değişkenler
Etkinliğin Amacı	Fotoelektrik olayını etkileyen değişkenlerin incelenmesi
Kullanılan Malzemeler	Tablet veya etkileşimli tahta

Etkinliğin Hazırlanışı ve Yapılışı

1. Adım: Karekodu okutarak fotoelektrik olayı simülasyonunu açınız.

2. Adım: Simülasyonda “Hedef” butonundan “Sodyum” metalini seçiniz. Işık şiddetini %50 ye, ışığın dalga boyunu 200 nm seviyesine ayarlayınız. Ampermetrede oluşan akımın şiddetini defterinize yazınız.

3. Adım: “Hedef” butonundan “Bakır” metalini seçerek ampermetrede oluşan akımın şiddetini defterinize yazınız.

4. Adım: “Hedef” butonundan “Sodyum” metalini seçiniz. Işık şiddetini %100 e, ışığın dalga boyunu 200 nm seviyesine ayarlayınız. Ampermetrede oluşan akımın şiddetini defterinize yazınız.

5. Adım: Hedefte sodyum metali varken ışık şiddetini %100 e, dalga boyunu 100 nm seviyesine ayarlayınız ve ampermetrede oluşan akımın şiddetini defterinize yazınız.

6. Adım: Işık şiddetini %50 ye düşürüp dalga boyunu 500 nm seviyesine ayarlayınız ve ampermetrede oluşan akım şiddetini defterinize yazınız.

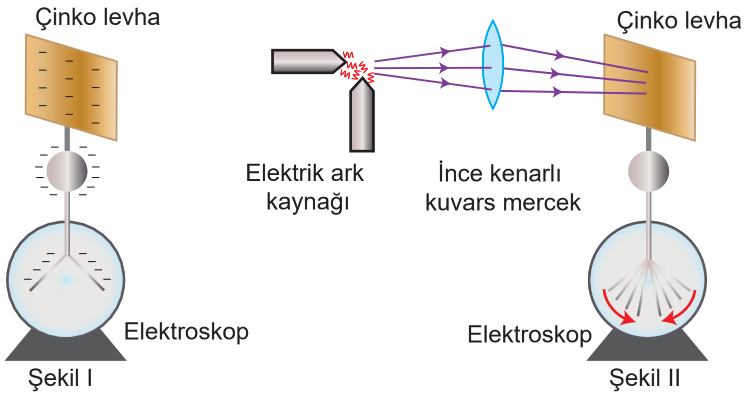
7. Adım: Işık şiddetini %100 e, dalga boyunu 500 nm seviyesine ayarlayınız ve ampermetrede oluşan akım şiddetini defterinize yazınız.

Etkinliğin Sonuçlandırılması

1. Etkinliğin 2 ve 3. adımlarında ampermetrede okunan değerleri karşılaştırarak farklılığın nedenini arkadaşlarınızla tartışınız.
2. Etkinliğin 4 ve 5. adımlarında ampermetrede okunan değerleri karşılaştırarak farklılığın nedenini arkadaşlarınızla tartışınız.
3. Etkinliğin 2 ve 6. adımlarında ampermetrede okunan değerleri karşılaştırarak farklılığın nedenini arkadaşlarınızla tartışınız.
4. Etkinliğin 6 ve 7. adımlarında ampermetrede okunan değerleri karşılaştırdığınızda farklılık oldu mu? Olmadıysa nedenini arkadaşlarınızla tartışınız.

Sıra Sizde - 10

Elektroskobun topuzuna bağlanmış negatif yüklü Şekil I'deki çinko levhaya ince kenarlı kuvars mercekten geçen yeterince enerjiye sahip fotonlar Şekil II'deki gibi çinko levha üzerine düşürüldüğünde elektroskobun yapraklarının kapandığı görülür.



Elektroskobun yapraklarının kapanmasının sebebi nedir? Açıklayınız.

Çözüm

Örnek

Eşik enerjisi 5 eV olan bir metalin yüzeyine 8 eV enerjili fotonlar düşürülüyor.

Buna göre koparılan elektronların maksimum kinetik enerjisi kaç eV olur?

Çözüm

Einstein'ın fotoelektrik denklemine göre

$E_f = E_0 + E_K$ ifade edilir. Buradan $E_K = E_f - E_0$ olur.

Bilinen değerler denklemde yerine yazılırsa

$E_K = 8 - 5 = 3$ eV bulunur.

Örnek

Bir metalin yüzeyine 2200 Å dalga boylu ışık düşürüldüğünde metalden kopan elektronların maksimum kinetik enerjileri $6 \cdot 10^{-19}$ J oluyor.

Buna göre metalin eşik enerjisi kaç J dür?
($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s, $c = 3 \cdot 10^{8} \frac{m}{s}$, 1Å = 10^{-10} m alınız.)

Çözüm

Gelen fotonun dalga boyu $\lambda = 2200$ Å $= 2{,}2.10^{-7}$ m olur. Bu değer enerji denkleminde yerine yazılırsa

$$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{2{,}2 \cdot 10^{-7}} = 9 \cdot 10^{-19} \text{ J olur.}$$

Bulunan değer fotoelektrik denkleminde yerine yazılırsa

$$E_f = E_0 + E_K \Rightarrow E_0 = E_f - E_K = 9 \cdot 10^{-19} - 6 \cdot 10^{-19} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J bulunur.}$$

Sıra Sizde - 11

Eşik enerjisi 3 eV olan bir metal yüzeyine ışık düşürüldüğünde metalden kopan elektronların maksimum kinetik enerjileri 1 eV oluyor.

Buna göre yüzeye düşürülen fotonların dalga boyu kaç Å olur?

($h \cdot c = 12\,400$ Å$\cdot$eV)

Çözüm

5.3.3. Fotoelektronların Maksimum Kinetik Enerjileri ile Gelen Fotonların Frekansı Arasındaki İlişki

Eşik enerjisine sahip bir fotonun frekansına **eşik frekansı (f_0)** denir. Bu frekansa karşılık gelen dalga boyuna ise **eşik dalga boyu (λ_0)** denir. Eşik enerjisi fotonun sahip olması gereken enerji olduğu için

$E_0 = h \cdot f_0$ ya da $E_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda_0}$ şeklinde ifade edilir.

Her metal farklı bir eşik enerjisi değerine sahiptir. Bu nedenle eşik enerjisi (E_0), eşik frekansı (f_0) ve eşik dalga boyu (λ_0) sadece metalin cinsine bağlıdır. Her foton ancak bir elektronla etkileştiği için metal yüzeyine düşürülen fotonların enerjileri eşik enerjisinden büyükse fotonun enerjisinin bir kısmı ile elektron koparılır. Kalan enerji de koparılan elektronlara kinetik enerji olarak kullanılır. Elektron metal yüzeyinden bu enerji ile ayrılır. Elektronların yüzeyi terk ettikleri anda sahip oldukları kinetik enerjiye **maksimum kinetik enerji** denir.

Einstein'ın fotoelektrik denklemi

$E_f = E_0 + E_K$ frekansa bağlı olarak yazılırsa

$h \cdot f = h \cdot f_0 + \frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2$ olur.

Denklemde görüldüğü gibi

- $f < f_0$ ise metal yüzeyinden elektron koparılamaz. Fotoelektrik olayı gerçekleşmez.
- $f = f_0$ ise metal yüzeyden elektron koparılır. Ancak fotoelektronların kinetik enerjisi sıfır olur.
- $f > f_0$ ise metal yüzeyden elektron koparılır. Fotoelektron kazandığı kinetik enerjiyle hareket eder.

Bir metal yüzeyine gönderilen fotonların frekansı artırıldığında metal yüzeyinden koparılan elektronların kazanacağı maksimum kinetik enerji de artacaktır.

Fotoelektrik denkleminin ışığın dalga boyu cinsinden ifadesi

$\frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{\lambda_0} + \frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2$ şeklinde olur.

Yapılan çalışmalarda metalden kopan elektronların kinetik enerjisinin metal yüzeye düşürülen ışığın şiddetine bağlı olmadığı, frekansına ya da dalga boyuna bağlı olduğu görülmüştür.

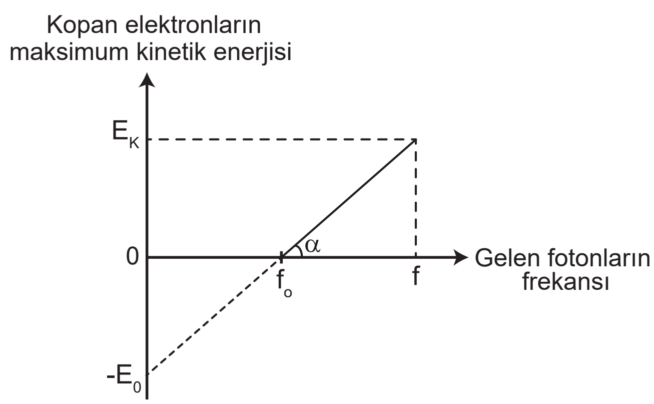
Fotonun frekansına bağlı fotoelektrik denklemine göre

$$E_f = E_0 + E_K$$

$$h \cdot f = h \cdot f_0 + \frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2$$

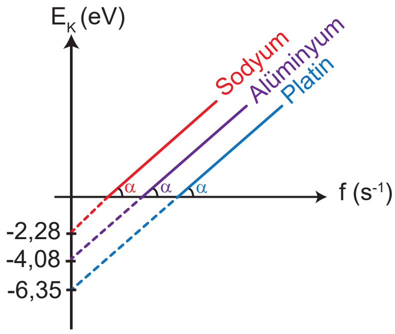
- $f = 0$ ise denklemin matematiksel olarak çözümünden elektronların kinetik enerjisi $E_K = -E_0$ olur.
- $f = f_0$ ise kopan elektronların kinetik enerjisi $E_K = 0$ olur.
- $f > f_0$ ise kopan elektronlar bir E_K kinetik enerjisine sahip olur.

Bu ifadelerden yola çıkılarak kopan elektronların sahip olduğu maksimum kinetik enerjinin fotonun frekansına bağlı değişim grafiği elde edilir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11: *Kopan elektronların kinetik enerjilerinin gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiği*

Grafiğin eğimi sabit olup Planck sabitini (h) verir. Bu nedenle kopan elektronların maksimum kinetik enerjilerinin gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiği hangi metal için çizilirse çizilsin eğimleri birbirine eşittir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12: *Farklı metallerden koparılan elektronların kinetik enerjilerinin gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiği*

Sıra Sizde - 12

Demir, çinko ve bakır metallerinin eşik enerjileri ve eşik frekansları tabloda verilmiştir.

Metal	Eşik Enerjisi (eV)	Eşik Frekansı (s^{-1})
Demir	4,14	$1,004 \cdot 10^{15}$
Çinko	4,31	$1,04 \cdot 10^{15}$
Bakır	4,70	$1,134 \cdot 10^{15}$

Buna göre

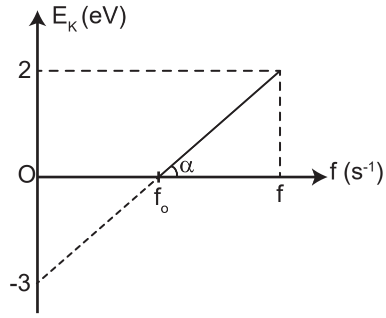
a) **Bu metallere ait kopan elektronların kinetik enerjilerinin gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiklerini çiziniz.**

b) **Bu metallere $1,12 \cdot 10^{15}$ s^{-1} frekanslı fotonlar düşürüldüğünde hangi metallerde fotoelektrik olayı gerçekleşir?**

Çözüm

Örnek

Bir metal yüzeyine f frekanslı fotonlar düşürüldüğünde kopan elektronların maksimum kinetik enerjilerinin gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiği şekildeki gibi oluyor.



Buna göre gelen fotonların enerjileri kaç eV olur?

Çözüm

Grafiğin eğimi Planck sabitini verir. $\tan\alpha = \dfrac{2}{f \cdot f_0} = h$

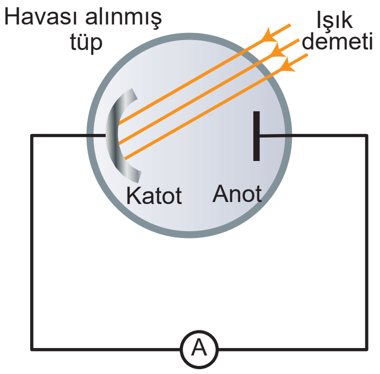
$2 = h \cdot f - h \cdot f_0$

$h \cdot f$ gelen fotonların enerjisi ve $h \cdot f_0$ metalin eşik enerjisidir.

Grafikten $E_0 = 3$ eV olarak alınır. Bu değer yerine yazılırsa

$2 = E_f - E_0 \Rightarrow 2 = E_f - 3 \Rightarrow E_f = 2 + 3 = 5$ eV bulunur.

5.3.4. Fotonların Sahip Olduğu Maksimum Kinetik Enerji, Durma Gerilimi ve Metalin Eşik Enerjisi Arasındaki İlişki

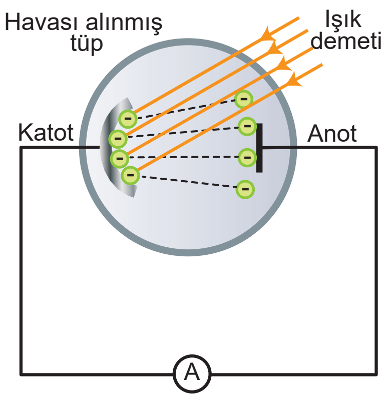


Şekil 5.13: *Fotoselin şematik gösterimi*

Fotoelektrik olayının daha iyi anlaşılabilmesi için fotosellerin çalışma prensibi incelenmelidir. Üzerine düşürülen ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklere **fotosel** denir (Şekil 5.13). Fotoseller havası alınmış bir tüp ve içerisine konulan iki metal levhadan oluşur. Alkali metallerden seçilen ve üzerine ışığın düşürüldüğü levhaya **katot**, katottan kopan elektronların ulaştığı karşı levhaya ise **anot** denir.

Fotosel karanlık bir ortamda iken devrede herhangi bir akım oluşmaz. Katot levhası üzerine ışık düşürüldüğünde gelen fotonların enerjileri metalin eşik enerjisinden küçükse fotonlar katot yüzeyinden elektron sökemez. Bu durumda akım oluşmaz.

Katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjileri eşik enerjisine eşitse katot yüzeyinden elektron koparılır ancak elektrona kinetik enerji kazandırılamadığı için elektron katot yüzeyinde kalır. Bu durumda da akım oluşmaz.



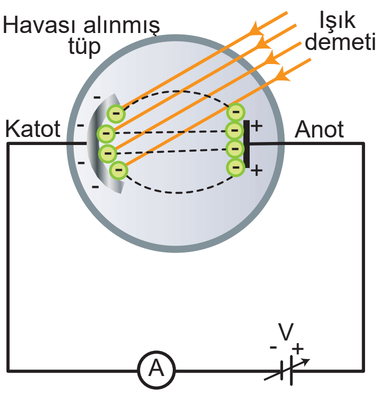
Şekil 5.14: *Fotoselde akım oluşması*

Katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi metalin eşik enerjisinden büyükse metal tarafından soğurulan fotonun enerjisi Einstein denklemine göre hem elektronu koparır hem de koparılan elektronlara kinetik enerji kazandırır. Elektronlar kazandığı kinetik enerjinin etkisi ile metal yüzeyi terk eder. Bu elektronlardan bir kısmı sapar, bir kısmı anot levhasına ulaşır ve devrede bir akım dolaşmasına neden olur. Oluşan akıma **fotoelektrik akım (I_0)** denir (Şekil 5.14).

Oluşan I_0 akımını artırmak için

- Metal yüzeyine düşürülen ışığın şiddetini (foton sayısını) artırmak
- Katot yüzeyini büyütmek
- Anot-katot levhaları arasındaki uzaklığı azaltmak
- Katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjilerini artırmak
- Bağlanma enerjisi küçük metal kullanmak
- Işık kaynağı noktasal ise ışık kaynağını katot levhasına yaklaştırmak
- Anot yüzeyini büyütmek

Bu olaylar anot levhasına ulaşan elektron sayısının ve devrede oluşan I_0 fotoelektrik akımının artmasına neden olabilir.



Şekil 5.15: *Bir fotosele üreteç bağlanması*

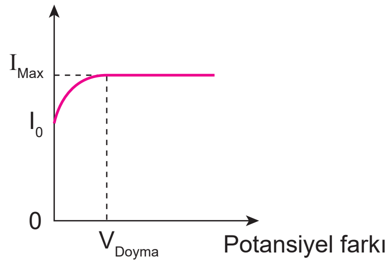
Ayarlanabilir üretecin pozitif kutbu fotoselin anot, negatif kutbu fotoselin katot levhasına bağlandığında (Şekil 5.15) katot ve anot levhaları arasında oluşan elektrik alan etkisiyle katot yüzeyinden koparılan elektronlar hızlandırılarak sapmaları azalır ve I_0 akımı artar.

Gerilim belirli bir değere ulaştığında katot metalinden kopan bütün elektronlar, elektrik alanının etkisi ile anot levhasına ulaşır. Bu durumda akım maksimum ve sabit bir değer alır.

Akımı maksimum yapan gerilime **doyma gerilimi** denir. Doyma gerilimine ulaşıldıktan sonra gerilim artırılsa da oluşan maksimum akımın (I_{Max}) büyüklüğü değişmez (Şekil 5.16).

Şekil 5.15'teki gibi oluşturulan devrede

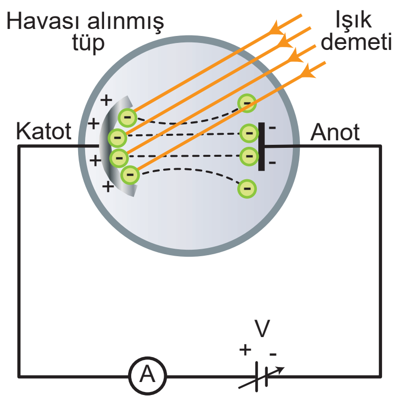
- Katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi metalin eşik enerjisine eşit ise ($E_f = E_0$) metalden elektron koparılır. Kopan elektronlar anot-katot arasında oluşan elektrik alan içerisinde hızlanır. Elektronların kazandığı kinetik enerji elektriksel kuvvet tarafından yapılan iş ($W = e \cdot V$) kadar olur. Elektronlar $E_K = e \cdot V$ büyüklüğünde kinetik enerjisiyle anot levhasına ulaşır ve devrede akım oluşur.
- Katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi metalin eşik enerjisinden büyükse ($E_f > E_0$) katot levhasından elektron koparılır. Kopan elektronlar $E = E_K + e \cdot V$ büyüklüğündeki kinetik enerjiyle anot levhasına çarpar ve devrede akım oluşur.



Şekil 5.16: *Fotoelektrik olayında doyma gerilimi*

Maksimum akımı artırmak için katot yüzeyine düşen ışık şiddeti bir başka ifadeyle foton sayısı artırılmalıdır. Kaynak noktasal bir kaynaksa katot yüzeyine yaklaştırılmalı ya da katot yüzeyinin alanı artırılmalıdır.

Anot yüzeyinin artırılması, anot-katot arası uzaklığın azaltılması ve katot levhasına düşürülen fotonların frekansının artırılması maksimum akımın büyüklüğünü değiştirmez. Çünkü maksimum akımın belirleyicisi anot levhasına ulaşan elektron sayısıdır.

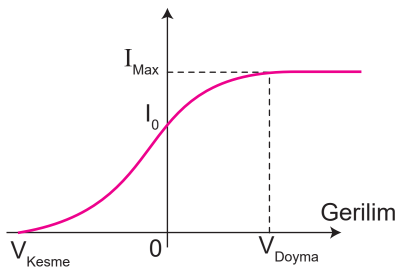


Şekil 5.17: *Fotoselli devreye ters bağlanmış üreteç*

Ayarlanabilir üretecin pozitif kutbu fotoselin katot, negatif kutbu fotoselin anot levhasına bağlandığında (Şekil 5.17) metal yüzeyini maksimum kinetik enerji ile terk eden elektronlar, elektrik alan nedeni ile yavaşlatılır. Bu durumda anot levhasına ulaşan elektron sayısında ve buna bağlı olarak devrede oluşan akımda azalma olur.

Üretecin gerilimi artırıldığında anot levhasına ulaşan elektron sayısı giderek azalır. Bu da devrede oluşan akımın iyice azalmasına neden olur. Üretecin gerilimi artırılarak belli bir değere ulaştığında hiçbir elektron, anot levhasına ulaşamaz ve devredeki akım kesilir.

Anot levhasına ulaşan elektron sayısını sıfırlayarak devreden geçen akımın kesilmesine neden olan gerilim değerine **kesme potansiyeli** (durdurma gerilimi) denir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18: *Durma geriliminin akımı kesmesi*

Şekil 5.17'deki gibi oluşturulan devrede katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi metalin eşik enerjisinden büyükse ($E_f > E_0$) katot levhasından elektron koparılır. Kopan elektronlar metalden bir E_K kinetik enerjisiyle ayrılır.

- $E_K > e \cdot V$ ise koparılan elektronlar anot levhasına $E = E_K - e \cdot V$ kinetik enerjisi ile çarpar ve devrede akım oluşur.
- $E_K < e \cdot V$ ise koparılan elektronlar anot levhasına ulaşamaz ve devrede akım oluşmaz.
- $E_K = e \cdot V$ ise koparılan elektronlar anot levhasına ulaşamaz ve devrede akım oluşmaz. Bu durumda uygulanan gerilim durdurma gerilimine eşit olur.

Kesme gerilimi, fotoelektronların metal yüzeyi terk ettikleri anda sahip oldukları maksimum kinetik enerjiye bağlıdır. Anot-katot arasındaki elektrik alanının yaptığı iş, maksimum kinetik enerjiye eşit olduğunda elektronlar anoda ulaşamaz. Bu durum

$E_K = e \cdot V_{Kesme}$ bağıntısı ile ifade edilir.

e : Elektronun yükü (Coulomb)

V_{Kesme} : Kesme potansiyeli (Volt)

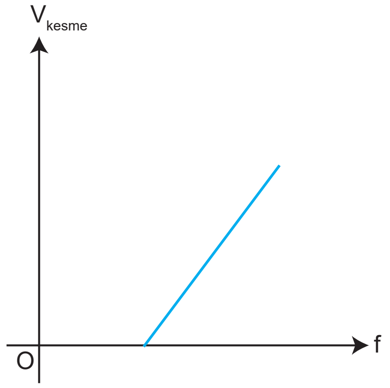
Einstein'ın fotoelektrik denklemi yeniden ele alınırsa

$E_f = E_0 + E_K$ bağıntısında

$E_f = h \cdot f$ ve $E_K = e \cdot V_{Kesme}$ den

$h \cdot f = E_0 + e \cdot V_{Kesme}$ olur. Buradan

$$V_{Kesme} = \frac{h \cdot f - E_0}{e}$$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 5.19: *Durma geriliminin frekans ile değişimi*

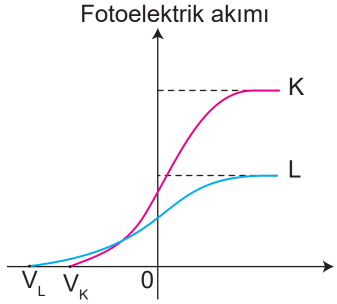
Bağıntı incelendiğinde kesme potansiyelinin gelen fotonların frekansına bağlı olduğu görülür. Fotonların frekansları artırıldığında uygulanması gereken kesme potansiyelinin değeri de artar. Kesme potansiyelinin frekansa bağlı değişim grafiği Şekil 5.19'daki gibidir.

Kesme potansiyelini etkileyen diğer bir faktör de metalin eşik enerjisidir. Eşik enerjisi daha büyük metal kullanılırsa kopan elektronlara kazandırılan maksimum kinetik enerji azalacağından kesme potansiyeli de azalır.

Kesme potansiyeli uygulanmış bir fotoselin yüzeyine düşürülen ışığın şiddeti artırılsa da devrede akım oluşmaz. Kaynağın ışık şiddeti artırılsın ya da azaltılsın kopan elektronların maksimum kinetik enerjileri değişmediğinden kesme potansiyeli değişmez.

Örnek

Bir fotosele K ve L kaynaklarından ışık düşürüldüğünde akım şiddeti gerilim grafiği şekildeki gibi oluyor.



K kaynağının ışık şiddeti I_K, kaynaktan çıkan fotonların frekansı f_K, L kaynağının ışık şiddeti I_L kaynaktan çıkan fotonların frekansı f_L olduğuna göre

a) **I_K ve I_L arasındaki büyüklük ilişki nedir?**

b) **f_K ve f_L arasındaki büyüklük ilişki nedir?**

Çözüm

a) Devrede oluşan I_{Max} ışık şiddetine bağlıdır. K kaynağının oluşturduğu akım daha büyük olduğundan $I_K > I_L$ dir.

b) Bir fotoseldeki kesme potansiyeli fotonların frekansına bağlıdır. İki kaynaktan çıkan fotonlar aynı yüzeye düştüklerinden eşik enerjisi ikisi için de aynıdır. Kesme potansiyeli daha büyük olan kaynaktan çıkan fotonların frekansı daha büyüktür. Buna göre $f_L > f_K$ bulunur.

Örnek

Eşik enerjisi 3 eV olan bir metale 1550 Å dalga boylu ışık düşürülüyor.

Buna göre kesme potansiyeli kaç V tur? ($h \cdot c$ = 12 400 eV · Å)

Çözüm

Gelen fotonların enerjisi $E_f = \dfrac{h \cdot c}{\lambda} = \dfrac{12\,400}{1550} = 8$ eV olur.

Bulunan bu değer Einstein'ın fotoelektrik denkleminde yerine yazılırsa

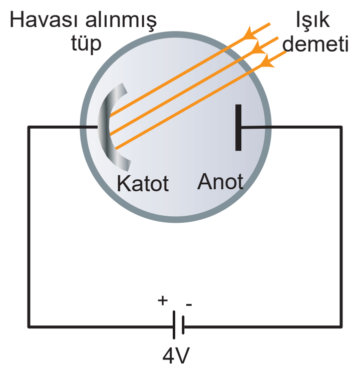
$E_f = E_0 + E_K \Rightarrow 8 = 3 + E_K \Rightarrow E_K = 8 - 3 = 5$ eV olur.

Kesme potansiyeli ile kinetik enerji arasında $E_K = e.V_{Kesme}$ olduğuna göre $V_{Kesme} = 5$ V bulunur.

Sıra Sizde - 13

Katot metalinin eşik enerjisi 2 eV olan fotosele 9 eV enerjili fotonlar düşürülüyor.

Buna göre kopan elektronların anoda çarptıkları andaki kinetik enerjileri kaç eV olur?



Çözüm

Sıra Sizde - 14

Eşik dalga boyu 3100 Å olan fotosele dalga boyu 1240 Å olan fotonlar düşürülüyor.

a) **Fotonun enerjisi kaç eV tur?**

b) **Metalin eşik enerjisi kaç eV tur?**

c) **Metalden sökülen fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi kaç eV tur?**

ç) **Oluşan akımın değerini sıfıra düşürmek için uygulanması gereken kesme potansiyeli kaç V olmalıdır?** ($h \cdot c$ = 12 400 eV · Å)

Çözüm

5.3.5. Fotoelektrik Olayının Günlük Hayattaki Uygulamaları

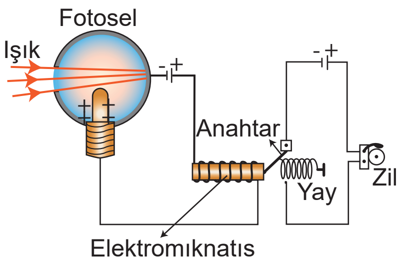
Fotoelektrik olayının günlük hayatta en yaygın kullanım şekli fotosellerdir. Fotoseller üzerlerine düşürülen ışık nedeniyle gerilim oluşturan ışık algılayıcılarıdır. Fotoseller kullanıldıkları devrede anahtar görevi görür. Hava karardığında sokak lambalarının kendiliğinden yanması veya aydınlandığında sönmesi fotoseller sayesinde olur.



Görsel 5.8: *Fotoselli Musluk*

Fotoselli muslukta kızılötesi bölgeden ışık yayan bir LED lamba ile bir algılayıcı bulunur. Lambadan yayılan ışık ele çarpıp tekrar fotosele döndüğünde algılayıcı tarafından alınır. Algılanan hareket valfe aktarılır ve valf hareketli kısmını çekerek su yolunu açar (Görsel 5.8). Böylece toplu kullanım alanlarında bulunan lavabolarda musluklara dokunmadan su akıtılarak kişisel hijyen sağlanmış olur.

Su ve enerji kaynaklarının hızla tükendiği dünyada tasarruflu olmanın önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Fotoseller sayesinde elektrik akımı veya musluktaki su kontrol edilerek tasarruf yapılması sağlanabilir.



Şekil 5.20: *Hırsız alarmı şematik görünümü*

Fotosellerin kullanım alanlarından biri de hırsız alarmlarıdır (Şekil 5.20).Fotosele ışın düşürülüp fotoelektrik akımı oluşturulur. Oluşan akım bobinin mıknatıslanmasını sağlar ve anahtar çekilir. Işık kaynağı ile fotosel arasına bir kişi girdiğinde fotosele ışık düşmez ve akım kesilir. Bu durumda bobin mıknatıslık özelliğini kaybeder ve anahtar yayın uyguladığı kuvvet nedeniyle kapanır. Zil devresinden geçen akım alarmın çalmasına neden olur.

Fotoseller, sinema filmlerinin ses kayıt okumasında, otomatik açılıp kapanan kapılarda, elektronik dizgi makinelerinde, yangın ve duman dedektörlerinde kullanılır.



Görsel 5.9: *Pozometre*

Fotoelektrik olayının kullanım alanlarından biri de fotoğraf makinelerinin pozometrelerindeki dedektörlerdir (Görsel 5.9). Pozometreler fotoğraf çekilecek ortamdaki ışık şiddetini ölçmek için kullanılır. Pozometre üzerine düşen ışığın oluşturduğu akım miktarına göre ortamın ışık şiddeti belirlenir.



Görsel 5.10: *Güneş gözlüğü*

Güneş ışığı atmosferi geçerken ozon tabakasında süzülür. Bu süzülme sırasında ozon tabakası ultraviyole (morötesi) ışınlarının çok zararlı olanlarını tutar. Ancak ozon tabakasının incelmesi veya delinmesi nedeniyle ultraviyole ışınlar yeryüzüne ulaşır. Bu ışınlar özellikle göze ve cilde zarar verir. Bu ışınların göze zarar vermemesi için güneş gözlüklerinin kullanılması gerekir (Görsel 5.10). Çünkü güneş gözlükleri ultraviyole ışınlarını yansıtır ve göze ulaşmasını engeller. Güneş gözlüğü takıldığında ya da hava karardığında gözün daha net görebilmesi için göz bebekleri büyür. Sahte güneş gözlükleri ultraviyole ışınlarını yansıtamaz ve büyüyen göz bebeklerinin içine bu ışınlar düştüğünde göz sinirleri zarar görür. Bu durumdan da göz sağlığı olumsuz etkilenir.

Sıra Sizde - 15

Eşik frekansı $2 \cdot 10^{15}$ s^{-1} olan metal yüzeye ışık düşürüldüğünde kopan elektronların maksimum kinetik enerjileri $2{,}8 \cdot 10^{-19}$ J oluyor.

Buna göre metal yüzeyine düşen fotonların enerjileri kaç Joule olur? ($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s)

Çözüm

Sıra Sizde - 16

Eşik enerjisi $1 \cdot 10^{-19}$ J olan metal yüzeyine ışık düşürüldüğünde kopan elektronlara uygulanan kesme potansiyeli 5 V oluyor.

Buna göre metal yüzeyine düşen fotonların dalga boyu kaç Å dür? ($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s, $c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s, 1 eV = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J)

Çözüm

Sıra Sizde - 17

Günlük hayatta karşılaşılan

I. Asansörlerin kata ulaştığında durması

II. Otomatik kapı bariyerlerine araç yaklaştığında bariyerin açılması

III. Alışveriş merkezinde kullanılan dedektörlerin metalleri tespit etmesi

olaylarından hangilerinde fotoelektrik olay yer alır?

Çözüm

4. BÖLÜM

COMPTON SAÇILMASI VE DE BROGLİE DALGA BOYU

Konular

5.4.1. Compton Olayında Foton ve Elektron Etkileşimi

5.4.2. Compton ve Fotoelektrik Olaylarının Benzer Yönleri

5.4.3. Işığın İkili Doğası

5.4.4. Madde ve Dalga Arasındaki İlişki

Anahtar Kavramlar

- Compton saçılması
- De Broglie dalga boyu

- **Dalga karakteri gösteren ışık, tanecik özelliği gösterebildiği gibi bir tanecik de dalga karekteri gösterebilir mi?**
- **Işıkta kırılma ve yansıma olayları ışığın tanecik özelliği ile de açıklanabilir mi?**

Bu bölümde Compton saçılması açıklanıp Compton ve fotoelektrik olaylarının benzer yönleri belirtilecek ve ışığın tanecik doğası hakkında çıkarımlar yapılacaktır.

Işığın tanecik, dalga hem tanecik hem de dalga doğasıyla açıklanan olaylar vurgulanıp De Broglie bağıntısı verilecektir.

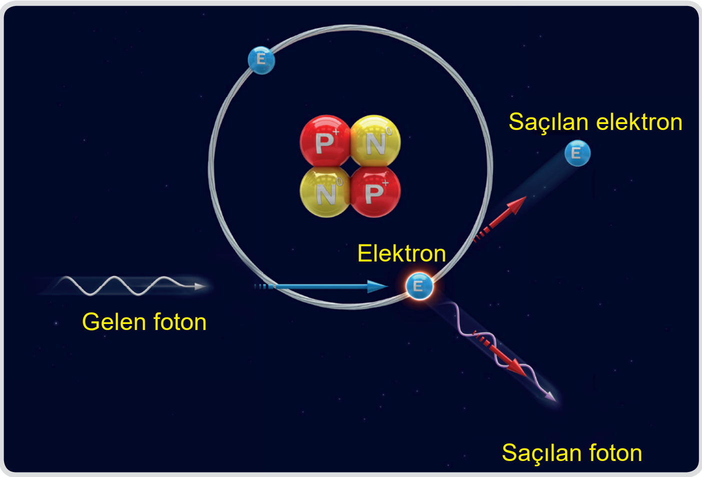
5.4.1. Compton Saçılması

1919 yılında Einstein, ışık fotonlarının doğrusal bir momentuma sahip olduğunu ileri sürmüş, fotonların atom ile etkileşimlerinde soğurulmalar veya yayınlanmalar olabilmesi için atoma enerji ve momentum aktarılması gerektiğini söylemiştir. Einstein, enerjisi $E_f = h \cdot f$ olan bir fotonun momentumu için $P = \frac{E_f}{c} = \frac{h \cdot f}{c}$ bağıntısını ileri sürmüştür.

Arthur Holly Compton (Arthır Holy Kamptın, 1892-1962) (Görsel 5.11), fotonların hem enerji hem de momentum taşıdığı fikrini destekleyen bir deney yapar. Bir karbon hedefe X-ışınları gönderir. Compton, elektrona çarpıp saçılan X-ışınlarının (Görsel 5.12) şiddetini ve dalga boyunu ölçerek saçılmanın klasik dalga teorisi ile açıklanamayacağını gösteren önemli sonuçlara ulaşır.

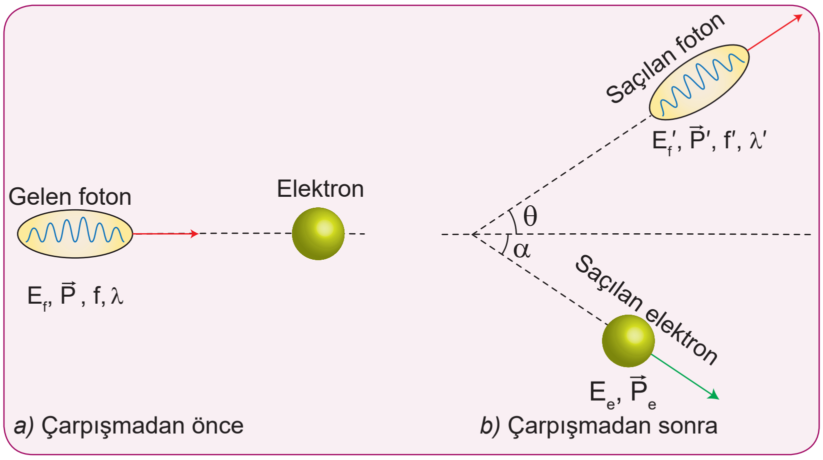


Görsel 5.11: *Arthur Holly Compton*

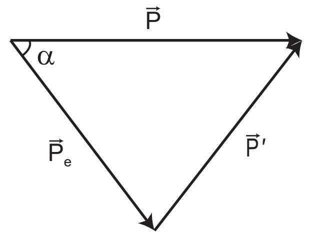


Görsel 5.12: *Compton olayı*

Bir elektrona Şekil 5.21: a'daki gibi gönderilen enerjisi E_f frekansı f ve dalga boyu λ olan X-ışını fotonu bu çarpışma sırasında bir parçacık gibi davranarak Şekil 5.21: b'deki gibi elektronun saçılmasını sağlar.



Şekil 5.21: *a, b) X-ışını fotonunun elektrona çarpıp saçılması modeli*



Şekil 5.22: *Saçılmadan sonra gelen foton, saçılan foton ve elektronun momentum vektörlerinin toplamı*

Foton ve elektronun çarpışması, merkezi olmayan esnek çarpışma şeklinde gerçekleşir. Momentumun korunumu yasası gereği gelen fotonun momentumu ($\vec{P}$), saçılan fotonun momentumu ($\vec{P}'$) ile saçılan elektronun momentumunun ($\vec{P}_e$) vektörel toplamına eşittir (Şekil 5.22).

Enerjinin korunumu yasasından gelen fotonun enerjisi (E_f) saçılan fotonun enerjsi (E') ile saçılan elektronun kinetik enerjisinin (E_e) toplamına eşit olur ve $E_0 = E + E_e$ şeklinde ifade edilir.

Bu durumda gelen fotonun enerjisi saçılan fotonun enerjisinden büyüktür. Fotonların enerjileri frekansları ile doğru orantılı olduğundan gelen fotonun frekansı (f) saçılan fotonun frekansından (f′) daha büyük olur ($f > f'$).

Fotonların enerjileri dalga boyları ile ters orantılı olduğundan saçılan fotonun dalga boyu (λ'), gelen fotonun dalga boyundan (λ) daha büyük olur. ($\lambda' > \lambda$).

Compton saçılması sırasında fotonun dalga boyu ve frekansı değişse de aynı ortamda ilerleyen fotonların hızlarının büyüklükleri eşit olduğundan gelen ve saçılan fotonların hızlarının büyüklükleri de eşit olur. Elektronun hızı ise fotonların hızından daha küçüktür.

Compton saçılması sırasında meydana gelen olayların incelenmesi için “Compton saçılması modeli” etkinliğini yapınız.

ETKİNLİK

2. ETKİNLİK

Etkinliğin Adı	Compton saçılması modeli
Etkinliğin Amacı	Compton saçılmasının modelinin çizilerek incelenmesi
Kullanılan Malzemeler	• A4 kâğıdı • Renkli kalemler

Etkinliğin Hazırlanışı ve Yapılışı

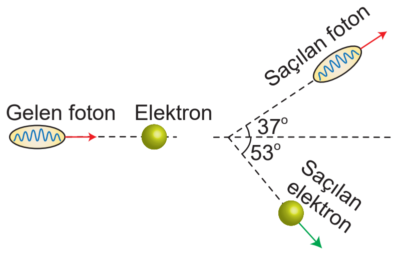
Compton saçılması sırasında gerçekleşen enerji ve momentumun korunumu ilkesinden yola çıkarak ideal bir ortam için Compton saçılmasına benzer bir etkileşim modeli oluşturunuz. Oluşturduğunuz modelde, gelen fotonun rengini mavi, saçılan fotonun rengini kırmızı ve saçılan elektronun rengini yeşil seçerek çiziniz.

Etkinliğin Sonuçlandırılması

Hazırladığınız modeli ve elde ettiğiniz bilgileri kullanarak Compton saçılması olayını arkadaşlarınızla tartışınız.

Örnek

Compton olayında Şekil I'deki gibi serbest bir elektrona gönderilen foton, elektron ile çarpışınca Şekil II'deki gibi saçılıyor.



Şekil I Şekil II

Buna göre

I. Gelen fotonun momentumu saçılan fotonun momentumundan büyüktür.

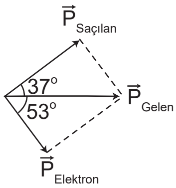
II. Gelen fotonun frekansı saçılan fotonun frekansından büyüktür.

III. Gelen fotonun dalga boyu saçılan fotonun dalga boyundan büyüktür.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

Momentumun korunumu kanunundan gelen fotonun momentumu saçılan fotonun momentumundan büyüktür.



Enerjinin korunumu kanununa göre gelen fotonun enerjisi saçılan fotonun ve saçılan elektronun enerjilerinin toplamına eşittir. Bu durumda gelen fotonun enerjisi saçılan fotonun enerjisinden daha büyük olduğundan frekansı da saçılan fotona göre daha büyüktür.

Frekans ile dalga boyu ters orantılı olduğu için saçılan fotonun dalga boyu geleninkinden daha büyüktür. Bu durumda I ve II. öncüller doğru olur.

Sıra Sizde - 18

Compton saçılması sırasında saçılan fotona ait

I. Frekansı

II. Dalga boyu

III. Hızı

büyüklüklerinden hangileri gelen fotona göre artış gösterir?

Çözüm

5.4.2. Compton ve Fotoelektrik Olaylarının Benzer Yönleri

Compton ve fotoelektrik olayları, ışığın dalga doğasının benimsendiği dönemde yapılan ve sonuçları itibariyle ışığın dalga doğasıyla açıklanamayıp ışığın tanecik doğası tarafından açıklanabilen önemli olaylardandır.

Eşik frekansından daha küçük frekansa sahip fotonlardan oluşan ışık demetinin ışık şiddeti artırılsa da fotoelektrik olayı gözlenmez. Bu durum ışığın dalga doğası tarafından açıklanamaz. Işık dalga ise elektrona aktarılan enerjinin dalganın şiddetine bağlı olması gerekir. Işık şiddeti artırıldığında dalganın enerjisi artacağından elektron kopması beklenir.

Aynı durum metal yüzeyinden koparılan fotoelektronların maksimum kinetik enerjileri için de geçerlidir. Işık şiddeti artırıldığında yüzeye düşen foton sayısı artar, buna bağlı olarak yüzeyi terk eden fotoelektronların sayısı da artar. Ancak fotoelektronların maksimum kinetik enerjilerinde bir değişiklik olmaz. Fotoelektronların maksimum kinetik enerjileri sadece fotonların frekansının artmasıyla mümkündür.

Fotoelektrik olayında dalga doğasının açıklayamadığı bir nokta da fotoelektronların metalden ayrılma sürecidir. Fotonlar metal yüzeyine düştüğü anda (yaklaşık 10^{-9} s) fotoelektronlar metal yüzeyi terk eder.

Fotoelektrik olayı gibi Compton olayı da ışığın dalga doğası tarafından açıklanamamıştır. Dalga teorisine göre ışık elektromanyetik dalgadır ve enine titreşir. Dalganın elektrik alanının uyguladığı kuvvet nedeni ile elektron titreşmelidir. Titreşen elektron ivmeli hareket yapacağından elektromanyetik dalgalar yaymalı ve yayılan dalgaların frekans ve dalga boyları gelen X-ışını fotonununkine eşit olmalıdır.

Compton olayında klasik fizik tarafından açıklanamayan bir diğer nokta da saçılan elektronların gelen fotonların doğrultusunda olmayıp bu doğrultu ile belli bir açı yapmasıdır.

Fotoelektrik olayında da Compton olayında da ışık dalga olarak değil tanecik olarak davranmıştır. Her iki olayda da fotonlarının enerjileri $E_f = h \cdot f$ ve momentumları $P = \frac{h \cdot f}{c}$ olan parçacık olarak değerlendirilmiş ve bu olaylar açıklanmıştır.

Sıra Sizde - 19

Fotoelektrik olayı ve Compton saçılması incelendiğinde

I. Foton soğurulur.

II. Işığın tanecik doğası ile açıklanır.

III. Gelen fotonlar elektronlara kinetik enerji kazandırır.

ifadelerinden hangileri iki olay için de kesinlikle ortaktır?

Çözüm

Sıra Sizde - 20

Compton ve fotoelektrik olaylarının benzer yönlerini yazınız. Bu iki olay sonucunda ışığın nasıl bir karakter gösterdiği söylenebilir?

Çözüm

5.4.3. Işığın Doğası

Işık, insanlar için temel bir enerji çeşididir. Işık enerjisi eski zamanlardan beri insanların ilgisini çekmiş, insanlar tarafından ışığın doğası ve özellikleri hakkında tartışmalar yapılmıştır.

Newton, ışığın tanecik yapısını kullanarak kırılma ve yansıma olaylarını açıklamıştır. Newton'ın tanecik teorisi, uzun yıllar kullanılmış ve çoğu bilim insanı tarafından bu teori desteklenmiştir.

1648 yılında Christian Huygens (Kıristiyan Huygıns, 1624-1695), ışığın dalga teorisinin yansıma ve kırılma olaylarını da açıkladığını kanıtlamış ancak bu görüş destek görmemiştir.

1801 yılında Thomas Young (1773-1829), girişim deneyini yaparak ışığın dalga doğasını açıkça ortaya koymuştur. Einstein, ortaya koyduğu teoriyle ışığın foton adı verilen enerji paketlerinden oluştuğunu belirtmiştir.

Bu durumlar ışığın ikili doğaya sahip olduğunu gösterir. Işık bazı olaylarda tanecik gibi davranırken bazı olaylarda dalga yapısına sahiptir. Tablo 5.2'de bazı ışık olaylarının ışığın hangi doğası tarafından açıklandığı verilmiştir.

Tablo 5.2: *Işığın Dalga ve Tanecik Doğasının Açıkladığı Işık Olayları*

Işık Olayı	Tanecik Doğası	Dalga Doğası	Işık Olayı	Tanecik Doğası	Dalga Doğası
Gölge oluşması	✓	✓	Yansıma	✓	✓
Kırılma	✓	✓	Işık akısı	✓	✓
Işığın doğrusal yol boyunca yayılması	✓	✓	Işık basıncı	✓	✓
Fotoelektrik olayı	✓		Compton saçılması	✓	
Girişim		✓	Kırınım		✓
Ortam değiştiren ışığın bir kısmının kırılıp bir kısmının yansıması		✓	Polarizasyon (Kutuplanma)		✓
Işığın renklere ayrılması		✓	Işığın birbiri içerisinden etkilenmeden geçmesi	✓	✓

5.4.4. Madde ve Dalga Arasındaki İlişki



Görsel 5.13: *Louis de Broglie*

Klasik fizik penceresinden bakıldığında bazı şeyler bütünüyle dalga, bazı şeyler ise yalnızca parçacık olarak görülür. Ancak kuantum fiziği penceresinden mikroskobik parçacıkların dünyasına bakılırsa bu ayrım kesin çizgilerle yapılamaz. Bazı durumlarda parçacık olarak isimlendirilen şeylerin, dalga özelliği de gösterdiği kanıtlanmıştır.

Louis de Broglie (1892-1967) (Görsel 5.13) 1923 yılında doktora tezinde fotonların hem parçacık hem de dalga doğasına sahip oldukları gibi maddenin her türlü hâlinin de iki özelliğe sahip olabileceğini belirtmiştir. De Broglie'ye göre elektronlar tıpkı ışık gibi hem parça hem de dalga doğasına sahiptir ve her elektrona bir dalga eşlik etmektedir.

Einstein'ın modeline göre fotonlar hiçbir sistemde durgun olamaz. Dolayısı ile durgun kütleleri sıfırdır. Bir fotonun momentumu enerjisine bağlı olarak

$P = \frac{E_f}{c}$ bağıntısı ile bulunur.

Bir fotonun enerjisini veren

$E_f = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ bağıntısı momentum denkleminde yerine yazılırsa

$$P = \frac{E_f}{c} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{\frac{h \cdot \not{c}}{\lambda}}{\not{c}} \Rightarrow P = \frac{h}{\lambda}$$ ifadesi bulunur.

Bu eşitlikte bir fotonun momentumunun dalga boyuna bağlı olduğu görülmektedir.

Broglie'ye göre elektronlar da ışık gibi ikili parçacık-dalga yapısına sahiptir. Hareket eden her elektrona bir dalga eşlik eder. Parçacıklara eşlik eden dalgalara **madde dalgası** denir. Momentumu P olan maddesel parçacıkların dalga boyu Broglie tarafından $\lambda = \frac{h}{P}$ şeklinde ifade edilmiştir.

Kütlesi m, hızı ϑ olan parçacığın momentumunun büyüklüğü $P = m \cdot \vartheta$ olduğundan Broglie dalga boyu

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{m \cdot \vartheta}$$ olur.

Fotonlar durgun kütleleri sıfır olan parçacıklardır ve enerjileri $E_f = h \cdot f$ dir. De Broglie, madde dalgaları enerjilerinin de fotonlarınki gibi Einstein bağıntısına uyması gerektiğini belirtir.

Parçacığın enerjisi E ise frekansı

$f = \frac{E}{h}$ olur.

De Broglie tarafından ortaya konan bağıntılar maddenin ikili yapıda olduğunu gösterir.

Sıra Sizde - 21

Işığın ikili doğasıyla ilgili

I. Işığın doğrusal yol boyunca yayılması

II. Polarizasyon (Kutuplanma)

III. Işığın birbiri içerisinden etkilenmeden geçmesi

IV. Fotoelektrik olayı

verilen olaylardan hangileri sadece ışığın tanecik modeliyle açıklanabilir?

Çözüm

Örnek

De Broglie, hareket hâlindeki taneciklerin de fotonlar gibi hem tanecik hem de dalga doğasına sahip olduğunu belirtmiştir.

Buna göre atom çekirdeğinin çevresinde dolanan bir elektron için

I. Elektrona eşlik eden dalgaların enerjileri Einstein bağıntısına uygundur.

II. Momentumları dalga boyuyla ters orantılıdır.

III. Momentumları kütleleriyle doğru orantılıdır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

De Broglie'ye göre madde dalgalarının enerjileri fotonlarınki gibi Einstein bağıntısına uymalıdır (I. öncül doğru).

De Broglie'nin $\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{m \cdot \vartheta}$ bağıntısına göre II. ve III. öncüller de doğrudur.

Sıra Sizde - 22

De Broglie tarafından ortaya konan bağıntıdan yola çıkarak madde ve dalga enerjisi arasındaki ilişkiyi açıklayınız.

Çözüm

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.

foton	ether	momentum
ışık şiddeti	tanecik	mutlak uzunluk
gözlemci	eşik enerjisi	elektron
siyah	enerji paketi	dalga

1. Max Planck, ışığın küçük …………………… oluştuğunu ileri sürmüştür.
2. Einstein, fotoelektrik olayında enerjinin elektronlara …………………… tarafından aktarıldığını ortaya koydu.
3. Bir ışık demetinde fotonlar enerji taşır ve …………………… sahiptir.
4. Fotoelektrik olayında metal yüzeyinden ayrılan fotoelektronların maksimum kinetik enerjileri …………………… bağlı değildir.
5. Fotoelektrik olayı ve Compton saçılması ışığın …………………… doğası ile izah edilebilmiştir.
6. Bir metal yüzeyine düşürülen ışığın metalden elektron koparması için gerekli en küçük enerjiye …………………… denir.
7. Compton olayında gelen fotonun enerjisi, saçılan fotonun ve saçılan …………………… enerjileri toplamına eşittir.
8. De Broglie durgun kütleleri sıfır olmayan parçacıklarında hem tanecik hem de …………………… doğasına sahip olduklarını ortaya koymuştur.
9. Michelson-Morley deneyi ışığın yayılması için ……………………adı verilen ortama ihtiyaç olmadığını ortaya koymuştur.
10. Işığın hızı eylemsiz referans sistemlerinde kaynağın ve …………………… hareketinden bağımsızdır.
11. Bir cismin durgun olduğu referans sisteminde ölçülen uzunluğuna …………………… denir.
12. Bir cisim üzerine düşen tüm ışınları soğurursa bu tür cisimlere …………………… cisim adı verilir.

B) Aşağıdaki soruların cevaplarını boş bırakılan alana yazınız.

13. **Bir elektrik devresinde anahtar görevi gören ve üzerine düşen ışık nedeni ile gerilim oluşturan ışık algılayıcılarına ne ad verilir?**

    Cevap: ……………………

14. Fiziksel olayların izahında korunum yasaları önemli yer alır.
    Compton olayında enerji ile birlikte hangi fiziksel nicelik korunmuştur?

    Cevap: ……………………

15. Fotoelektrik deneyi yapan bir öğrenci, metal yüzeyine düşen fotonların devrede fotoelektrik akımı oluşturmadığını gözlemliyor.

    Devrede akım oluşabilmesi için öğrencinin kullanması gereken fotonların hangi fiziksel niceliği önceki fotondan küçük olmalıdır?

    Cevap: ……………………

16. Işık olaylarına göre ışığın davranışı değişebilir. Bazı olaylarda tanecik gibi davranan ışık, bazı olaylarda dalga gibi davranır.

    Fotoelektrik ve Compton olayı ışığın hangi doğası ile izah <u>edilemez</u>?

    Cevap: ……………………

17. 1887 yılında A. A. Michelson ve Edward Morley tarafından etherin varlığı ile ilgili ilk bilimsel çalışma yapılmıştır. 1929 yılına kadar Michelson ve Morley dışında birçok bilim insanı sabır ve kararlılık içinde etherin varlığı konusunda deneylerini farklı koşullar altında sürdürmüş ama olumlu bir sonuç elde edememiştir.

    Bu bilgiler ışığında bilimsel çalışmaların bu kadar uzun sürmesi bilim insanlarının hangi yönünü ortaya koyar?

    Cevap: ……………………

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

18. Eşik enerjisi $7{,}2 \cdot 10^{-19}$ J olan bir metal yüzeyine frekansı $1{,}5 \cdot 10^{15}$ sn^{-1} olan ışık düşürülüyor.

Buna göre yüzeyden kopan fotoelektronların maksimum kinetik enerjileri kaç J olur? ($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s alınız.)

A) $2{,}7 \cdot 10^{-19}$ B) $2{,}9 \cdot 10^{-19}$ C) $3 \cdot 10^{-19}$ D) $4{,}5 \cdot 10^{-19}$ E) $5{,}2 \cdot 10^{-19}$

19. I. Ether hipotezinin geçerli olmadığı ispatlanmıştır.

II. Boşlukta ışık hızının kaynak ve gözlemcinin hareketinden etkilenmediğini ve her yönde aynı değere sahip olduğunu göstermiştir.

III. Işığın yayılmak için hiçbir ortama gerek duymayan bir elektromanyetik dalga olduğu görüşü ağırlık kazanmıştır.

Yukarıdaki ifadelerden hangileri Michelson-Morley deneyinin sonuçlarındandır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

20. Michelson-Morley deneyinin yapılış amacı

I. Dünya'nın hareketinden dolayı oluşan ether hareketlenmesinin ışık hızına etkisi var mıdır?

II. Mekanik dalgalarda olduğu gibi ışığın yayılması için maddesel bir ortam gerekli midir?

III. Işık dalgasal yapıya sahip midir?

sorularından hangilerine cevap aramak içindir?

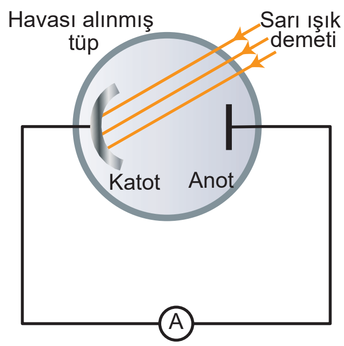
A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III D) I ve III E) I, II ve III

21. Bir metal yüzeyine 2,5 eV enerjili fotonlar düşürüldüğünde yüzeyden kopan elektronların maksimum kinetik enerjileri $1{,}2 \cdot 10^{-19}$ J oluyor.

Buna göre metalin eşik enerjisi kaç J dür? ($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s)

A) $2 \cdot 10^{-19}$ B) $2{,}5 \cdot 10^{-19}$ C) $2{,}8 \cdot 10^{-19}$ D) $3 \cdot 10^{-19}$ E) $3{,}2 \cdot 10^{-19}$

22. Bir fotoselin metal yüzeyine sarı ışık düşürüldüğünde devrede akım oluşmuyor.



Buna göre metal yüzeye

I. Turuncu ışık

II. Yeşil ışık

III. Mor ışık

hangileri düşürülürse akım oluşabilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

23. I. Fizik yasaları, tüm eylemsiz (ivmesiz) referans sistemlerinde aynıdır.

II. Işık hızı gözlemci ve ışık kaynağının hızından bağımsızdır.

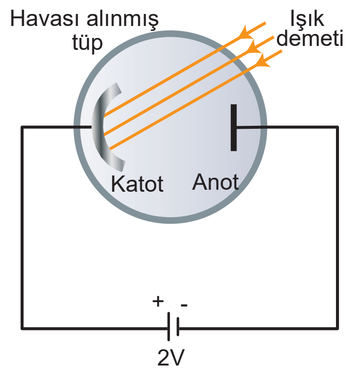
III. Işığın tüm eylemsiz referans sistemlerinde hızı boşluktaki ile aynıdır.

Yukarıdaki ifadelerinden hangileri Einstein'ın görelilik teorisinin postülalarındandır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

24. Metalin eşik enerjisi 5 eV olan fotosele gerilimi 2 V olan bir üreteç şekildeki gibi bağlanıyor.



Buna göre metal yüzeyine 9 eV enerjili fotonlar düşürülürse kopan elektronların anoda çarptıkları andaki kinetik enerjileri kaç eV olur?

A) 2 B) 3 C) 4 D) 5 E) 6

25. Michelson-Morley deneyinin sonucu Einstein tarafından farklı bir şekilde yorumlanarak özel görelilik teorisinin önermelerinden biri hâline getirilmiştir.

Eylemsiz referans sistemleri için geçerli olan bu teori hangisidir?

A) Işık hızına yakın hızlarda hareket eden cisimlerin kütleleri enerjiye dönüşür.

B) Hareket hâlindeki gözlemcinin hızı ışık hızına doğru artırıldıkça bir cismin boyunu durgunken ölçtüğü değerden daha kısa ölçer.

C) Işığın hızı her koşulda aynıdır.

D) Bir gözlemci, hızını ışık hızına doğru artırdıkça gözlemcinin ölçtüğü zaman kısalır.

E) Işığın yayılması için ether gibi bir ortama gerek yoktur.

26. Aşağıdaki ışık olaylarından hangisi ışığın yalnızca dalga doğası tarafından izah edilebilmiştir?

A) Kırılma

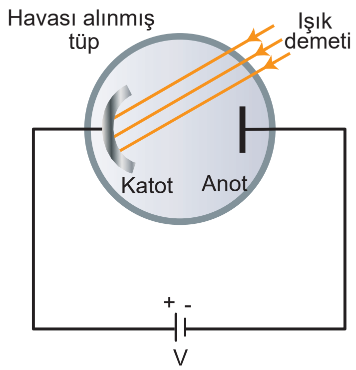
B) Fotoelektrik olayı

C) Yansıma

D) Girişim

E) Compton olayı

27. Eşik enerjisi 5 eV olan fotosel yüzeyine şekildeki gibi 8 eV enerjili ışık düşürülüyor.



Buna göre yüzeyden kopan fotoelektronların durma gerilimleri kaç V tur?

A) 2 B) 3 C) 4 D) 5 E) 6

28. Wien kayma yasasına göre

I. Sıcaklık arttıkça ışımanın gücü de artar.

II. Sıcaklık arttıkça ışıma frekansı artar.

III. Sıcaklık arttıkça ışımanın dalga boyu azalır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

29. Aynı fotosele K, L ve M kaynaklarından ışık düşürüldüğünde fotoelektronların durma gerilimleri ve oluşan maksimum akım şiddeti tablodaki gibi oluyor.

Işık Kaynağı	Durma Gerilimi	Oluşan Maksimum Akım Şiddeti
K	3V	2I
L	2V	3I
M	4V	I

Kaynakların yaydığı fotonların frekansları sırası ile f_K, f_L, f_M olduğuna göre bu frekanslar arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

A) $f_M > f_K > f_L$
B) $f_K > f_L > f_M$
C) $f_M > f_L > f_K$
D) $f_K > f_M > f_L$
E) $f_L > f_K > f_M$

30. **Einstein'ın $E = m \cdot c^2$ kütle ve enerjinin eşdeğerliği ilkesine göre**

I. m kütleli bir madde yok olursa $E = m \cdot c^2$ büyüklüğünde bir enerji ortaya çıkar.

II. Çift oluşum tepkimelerinde enerjinin maddeye dönüştüğü gözlemlenir.

III. Madde ile enerji birbirine dönüşebilir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I
B) Yalnız II
C) I ve II
D) I ve III
E) I, II ve III

31. **Einstein'ın ışığın yapısını açıklamak için ortaya koyduğu fotonlar ile ilgili**

I. Enerji taşır.

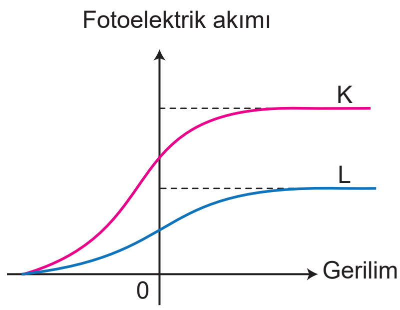
II. Momentumları vardır.

III. Durgun kütle enerjileri vardır.

ifadelerinden hangileri yanlıştır?

A) Yalnız I
B) Yalnız II
C) Yalnız III
D) I ve III
E) II ve III

32. Bir fotosele K ve L kaynaklarından ayrı ayrı ışık düşürüldüğünde akımın gerilimle değişim grafiği şekildeki gibi oluyor.



Buna göre

I. K ve L kaynaklarından yayılan fotonların frekansları eşittir.

II. K kaynağından çıkan fotonların frekansı daha büyüktür.

III. K kaynağının ışık şiddeti L kaynağının ışık şiddetinden büyüktür.

ifadelerinden hangileri doğru olur?

A) Yalnız I
B) Yalnız II
C) I ve II
D) I ve III
E) II ve III

33. **Siyah cisim ışınımı ile ilgili olarak aşağıdaki yargılardan hangisi yanlıştır?**

A) Siyah cisim, üzerine düşen tüm ışınları soğurur.

B) Işımanın şiddeti arttıkça dalga boyu kısalır.

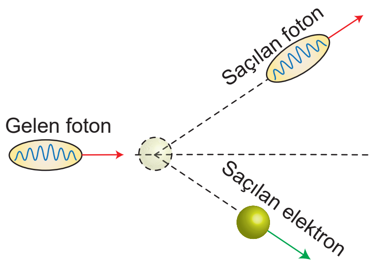
C) Siyah cisim soğurduğu ışımayı dışarıya geri verir.

D) Cismin sıcaklığı artırıldıkça ışınımın frekansı azalır.

E) Siyah cisim ışımasında sıcaklık ile dalga boyu ters orantılıdır

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

34. Compton olayında gönderilen bir foton, elektron ile etkileşerek sapmaktadır.



Buna göre

I. Gelen fotonun frekansı saçılan fotonun frekansından büyüktür.

II. Saçılan fotonun dalga boyu gelen fotonun dalga boyundan büyüktür.

III. Gelen fotonun hızı saçılan fotonun hızından büyüktür.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

35. Eşik enerjisi $2{,}6 \cdot 10^{-19}$ J olan bir fotosele 3000 Å dalga boylu ışık düşürülüyor.

Buna göre fotoelektronların durma gerilimi kaç V tur?

($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J · s, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$C ve $c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s)

A) 2,5 B) 3 C) 3,2 D) 3,8 E) 4

36. Einstein'ın özel görelilik kuramına göre

I. Fizik yasaları tüm eylemsiz referans sistemlerinde geçerlidir.

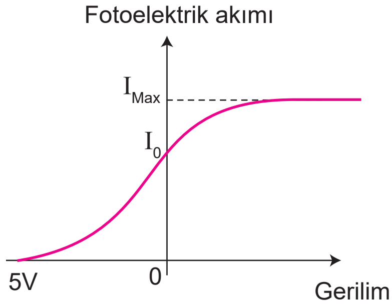
II. Işık hızına yakın bir hızla hareket eden cismin boyu, durgun hâldeki boyundan daha kısa ölçülür.

III. Işık hızı, gözlemci ve ışık kaynağının hızından bağımsızdır.

verilen ifadelerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

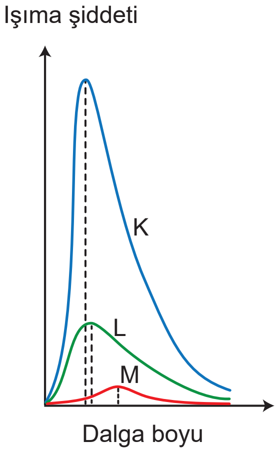
37. Bir fotosel yüzeye 7 eV enerjili fotonlar düşürüldüğünde oluşan akımın gerilimle değişim grafiği şekildeki gibi oluyor.



Buna göre fotoselde kullanılan metalin eşik enerjisi kaç J dür? ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C)

A) $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ B) $2 \cdot 10^{-19}$ C) $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ D) $3{,}6 \cdot 10^{-19}$ E) $4{,}8 \cdot 10^{-19}$

38. K, L ve M cisimlerinin ışıma şiddetlerinin dalga boyuyla değişim grafiği verilmiştir.



Cisimlerin yaptığı ışımaların maksimum dalga boyuna karşılık gelen sıcaklıkları T_K, T_L ve T_M ise bunların büyüklükleri arasındaki ilişki nedir?

A) $T_M > T_K > T_L$ B) $T_K > T_L > T_M$ C) $T_M > T_L > T_K$ D) $T_K > T_M > T_L$ E) $T_L > T_K > T_M$

D) Aşağıdaki açık uçlu soruların cevabını boş bırakılan alana yazınız.

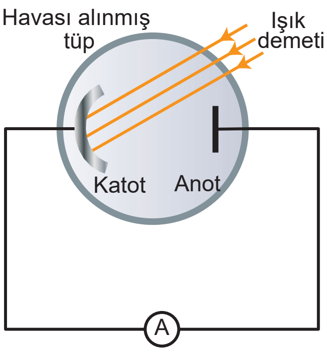
39. **Verilen ışık olaylarından ışığın hem dalga hem de tanecik modeli tarafından ortak olarak açıklanabilenlerin karşısına "✓" işareti koyunuz?**

Işık Olayı	
Gölge oluşması	
Kırılma	
Fotoelektrik olayı	
Girişim	
Yansıma	

40. **Planck hipotezi nedir? Kısaca açıklayınız.**

Çözüm

41. Bir fotosele şekildeki gibi ışık düşürüldüğünde devreden akım oluşmuyor.



Buna göre

I. Gelen fotonların dalga boyu küçültülmeli.

II. Işık şiddeti artırılmalı.

III. Eşik enerjisi daha küçük olan bir metal yüzey seçilmeli.

önerilerinden hangileri yapılırsa devreden akım oluşur?

Çözüm

42. **Michelson–Morley deneyinin sonuçları nelerdir? Yazınız.**

Çözüm

43. **Galileo-Newton fiziği ile Einstein'ın özel görelilik fiziği arasındaki fark kısaca nasıl ifade edilebilir?**

Çözüm

44. **Dalga boyu ışıma şiddetinin klasik yaklaşımı ile modern yaklaşımı farkı fizik alanında nasıl bir gelişmeye sebep olmuştur? Kısaca açıklayınız.**

Çözüm

45. Göz bebeği, göze giren ışık miktarını ayarlayan sensör gibi davranır. Ortam aydınlığı arttığında göz bebeği küçülerek içeri giren ışık miktarını azaltırken ortam karanlık olduğunda büyür ve göze giren ışık miktarı artar. Güneşten gelen UV ışınlarını süzecek şekilde tasarlanan güneş gözlüklerinin camları göze giren ışık miktarını azaltmak için fazladan koruma sağlar. Koyu renkli sahte güneş gözlükleri ise karanlık bir ortam oluşturduğu için göz bebeklerinin büyümesine ve göz içine daha fazla UV ışının girmesine neden olur. Bunun sonucunda gözün yapısında bozulmalar ve korneada yanıklar oluşabilir.

Yukarıdaki bilgilerden hareketle sahte güneş gözlüklerinin kullanılmasının neden sakıncalı olduğunu fotoelektrik olayıyla ilişkilendirerek açıklayınız.

Çözüm

46. **Dalga boyundaki değişimin ışıma şiddetine etkisinin açıklanmasında klasik yaklaşım ile modern yaklaşım arasındaki çelişki nedir? Kısaca açıklayınız.**

Çözüm

47. I. Atomun uyarılması

II. Fotoelektrik olayı

III. Compton saçılması

Yukarıda verilen olayların hangilerinde foton soğurulur?

Çözüm

48. I. Hava aydınlandığında sokak lambalarının kendiliğinden sönmesi

II. Marketlerde ürün fiyatlarının barkodla okunması

III. Otomatik kapıya yaklaşıldığında kapının kendiliğinden açılması

Yukarıdaki ifadelerden hangilerinde fotoelektrik olayı görülür?

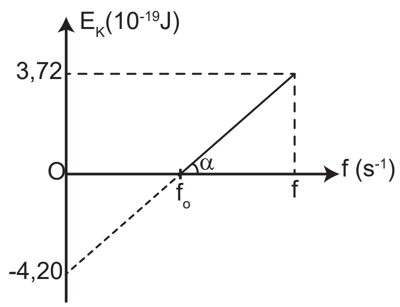
Çözüm

49. Enerjisi E, frekansı 4f olan fotonlar, eşik frekansları sırasıyla 2f ve 3f olan metallere düşüyor.

Buna göre metallerden sökülen elektronların maksimum kinetik enerjilerinin gelen fotonun frekansına göre değişim grafiklerini çiziniz.

Çözüm

50. **Bir fotosel yüzeyine f frekanslı fotonlar düşürüldüğünde kopan elektronların maksimum kinetik enerjilerinin gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiği şekildeki gibi oluyor.**



Buna göre gelen fotonların frekansı kaç sn^{-1} dir? ($h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J·s)

Çözüm

51. I. Üzerine düşen bütün ışınları soğurur.

II. Belli bir frekansta ışıma yapar.

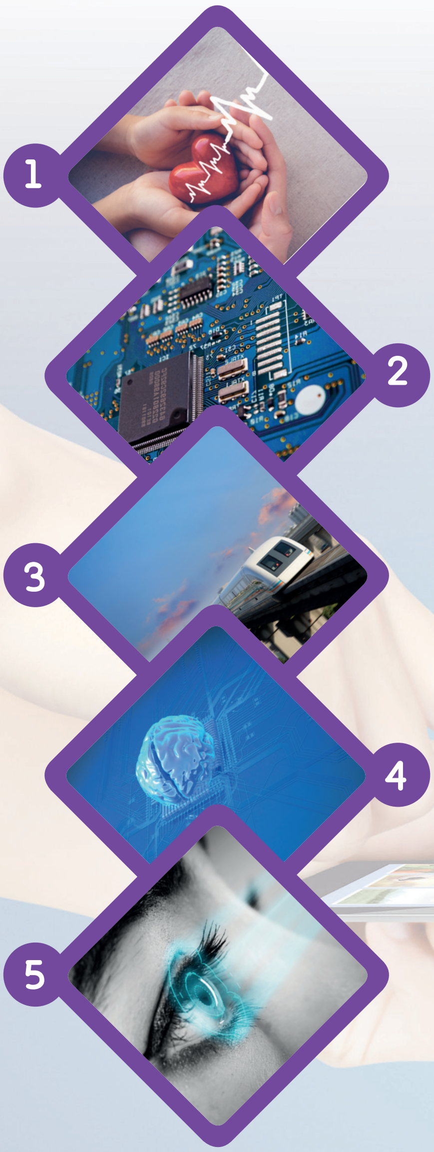
III. Işıma şiddeti ve spektrumu sıcaklığa bağlıdır.

Verilen ifadelerden hangileri siyah cismin özelliğidir?

Çözüm

6. ÜNİTE

MODERN FİZİĞİN TEKNOLOJİDEKİ UYGULAMALARI



Bu ünitede görüntüleme cihazlarının çalışma prensipleri açıklanıp LCD (Liguid Crystal Display-Sıvı Kristal Ekran) ve plazma teknolojilerinde fizik biliminin yeri belirtilerek yarı iletken maddelerin genel özellikleri ve yarı iletken malzemelerin teknolojideki önemi açıklanacaktır.

LED (Light Emitting Diode-Işık Yayan Diyot) teknolojisinin kullanıldığı yerlere örnekler verilip güneş pillerinin çalışma şekli açıklanarak günlük hayatı kolaylaştıran güneş pillerinin kullanıldığı sistemlerin tasarlanması amaçlanmaktadır.

Süper iletken maddenin temel özellikleri ve süper iletkenlerin teknolojideki kullanım alanlarına örnekler verilerek nanobilimin temelleri ve nanomalzemelerin temel özellikleri açıklanarak nanomalzemelerin teknolojideki kullanım alanları üzerinde durulacaktır.

1. BÖLÜM GÖRÜNTÜLEME TEKNOLOJİLERİ

Konular

6.1.1. Görüntüleme Cihazlarının Çalışma Prensipleri

6.1.2. LCD ve Plazma Teknolojilerinde Fizik Biliminin Yeri

Anahtar Kavramlar

- Görüntüleme teknolojisi

- **Güvenlik kameralarının gece karanlığında nasıl görüntü elde ettiğini hiç düşündünüz mü?**
- **Günlük hayatta çok fazla kullanılan televizyon, bilgisayar ve cep telefonu gibi araçların görüntü kalitesinin artırılmasında fiziğin rolü olabilir mi?**

Bu bölümde röntgen, MR (Manyetik Rezonans), PET (Pozitron Emisyon Tomografisi), tomografi, ultrason, radar, sonar ve termal kamera teknolojisinde fizik biliminin etkisi üzerinde durulacaktır. Görüntüleme cihazlarının (röntgen, MR, PET, tomografi, ultrason, radar, sonar, termal kamera) çalışma ilkelerine kısaca değinilerek LCD ve plazma teknolojilerinde fizik biliminin yeri açıklanacaktır.



6.1.1. Görüntüleme Cihazlarının Çalışma Prensipleri

Görüntüleme Cihazları

Bilim ve teknolojideki gelişmeler hızla artmaktadır. Modern fiziğin getirdiği yenilikler, atomun yapısı ve atom altı parçacıklarının keşfi, atom spektrumu ve atom uyarılmasıyla ilgili her türlü çalışma tıp, iletişim ve savunma sanayi gibi birçok alanda görüntüleme teknolojilerinin gelişmesini sağlamıştır.

HD (High Definition-Yüksek çözünürlük) görüntü ifadesi; telefon, televizyon ve tabletlerde yerini almıştır (Görsel 6.1: a, b, c). Yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile veriler daha yüksek kalitede ve daha hızlı işlenebilmektedir.

Araştırınız

Görüntüleme cihazları röntgen, MR, PET, tomografi, ultrason, radar ve termal kamera hakkında araştırma yapınız. Bu teknolojilerin oluşturulmasında fizik biliminin rolünü sorgulayarak sonuçlarını arkadaşlarınızla paylaşınız.


a)


b)


c)

Görsel 6.1: *a) Telefon b) LCD televizyon c) Tablet*

Görüntüleme cihazları farklı tekniklerle birçok alanda kullanılmaktadır. Bu cihazların çalışma prensipleri kısaca şöyledir:

Röntgen Cihazı

Radyoloji biliminin doğuşunu sağlayan X-ışınları, 1895 yılında Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından bulunmuştur. Tıpta devrim niteliğindeki bu önemli buluş ile Wilhelm Conrad Röntgen, 1901 yılında Nobel Ödülü almıştır.

Röntgen, radyoaktif tanı yöntemlerinin en eskisidir. Röntgen cihazlarında (Görsel 6.2) elektromanyetik dalgalardan X-ışınlarının kullanılmasının temel nedeni dokulardan geçebilmesidir. Organizmaların gözle görülmeyen iç yapılarının X-ışınları kullanılarak fotoğrafik materyal ya da dijital sistem üzerine görüntülenmesi işlemine **radyografi** denir. Bu, tüm canlılarda kullanılabilen ucuz ve kolay bir görüntüleme yöntemi olmasına rağmen X-ışınlarının zararlı etkilerinden dolayı çok sık kullanılmamalıdır.



Görsel 6.2: *Röntgen cihazı*

Radyografi, vücudun kemik ihtiva eden kısımlarında kolayca görüntü oluşturulabildiği hâlde, karın boşluğunda bulunan yumuşak dokulardan oluşan organlarda yetersiz kalmaktadır.

Röntgen filmleri (Görsel 6.3) üç boyutlu cisimlerin yoğunluğuna ve şekline göre oluşan iki boyutlu bir görüntüdür.



Görsel 6.3: *Röntgen filmi*

Yumuşak dokulardan bazılarının görüntülenmesinde radyoskopi kullanılır. Radyoskopi genelde sindirim sistemi, idrar yolları ve üreme

sistemi yapılarının ayrıntılı, gerekirse hareketli şekilde, gerçek zamanlı incelenmesini sağlayan görüntüleme şeklidir.

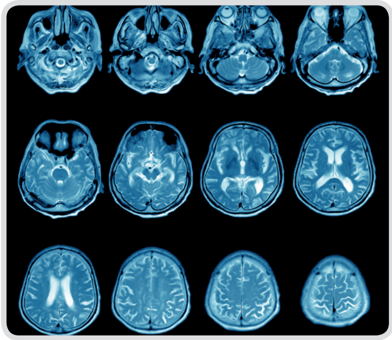
MR Cihazı

Manyetik rezonans (MR) görüntüleme, zararlı radyoaktif maddelerin kullanılmadığı bir görüntüleme tekniğidir.

MR cihazı, yapısında mıknatıs bulunan ve görüntüleme sürecinde radyo dalgaları kullanılan bir cihazdır (Görsel 6.4). Cihazda bulunan güçlü mıknatısların oluşturduğu manyetik alan sayesinde incelenecek bölgedeki hücrelerde bulunan atom çekirdekleri titreşir. Üzerine radyo dalgaları uygulanan atomlar belli bir frekansta bu radyo dalgalarını geri yansıtır. Yansıyan dalgalar bir bilgisayar yardımıyla hareketsiz ya da hareketli görüntüye dönüştürülür (Görsel 6.5).



Görsel 6.4: *MR cihazı*

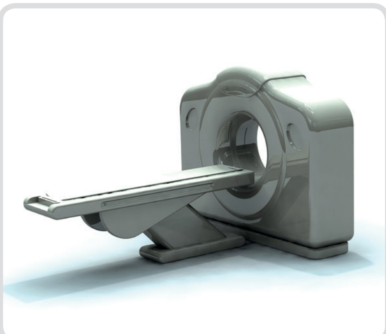


Görsel 6.5: *MR filmi*

Isıdor Isaac Robi (Isidor Ayzek Robi, 1898-1988), 1930 yılından itibaren atom çekirdeğinin doğası hakkında araştırmalar yapmıştır. Bu araştırmalar sonucunda MR cihazını icat etmiş ve 1944 yılında fizik dalında Nobel Ödülü'ne layık görülmüştür.

PET (Pozitron Emisyon Tomografisi) Görüntüleme Cihazı

PET, nükleer tıpta kullanılan görüntüleme yöntemlerinin en gelişmişidir. Vücuda verilen radyoaktif madde tarafından salınan pozitronların atomların serbest elektronlarıyla yok olma tepkimesi yapmasıyla gama ışınları açığa çıkar. PET, açığa çıkan gama ışınlarının dedektörler tarafından tespit edilip bilgisayarda görüntüye dönüştürülmesidir. Özellikle onkolojik hastalıkların teşhis ve tanısında kullanılan PET cihazlarında (Görsel 6.6), tüm vücudun üç boyutlu görüntüsü elde edilerek organların fonksiyonel aktivitelerinin incelenmesi sağlanır.



Görsel 6.6: *PET cihazı*

PET yaptıracak hasta, öncesinde en az 6 saat bir şey yiyip içmemelidir. Aç gelen hastanın kan şekeri ölçülür. Kan şekeri istenilen değerde ise normal şeker molekülünün Flor-18 radyoaktif maddesiyle birleştirilmiş şekli olan FDG (Fluoro Deoksi Glukoz-Flour Deoksi Glikoz) radyoaktif sıvısı damar yoluyla hastaya verilir ve sıvının dağılması beklenir. Kanser hücreleri, sağlıklı hücrelere göre daha hızlı büyüdüğünden daha çok şeker molekülüne bağlanma ihtiyacı duyar ve daha çok şekere bağlanmış tümörlü hücrelerin ışıması sağlıklı hücrelerden fazla olur.

Yayılan ışımalar yardımıyla vücudun üç boyutlu görüntüsü alınır. Radyoloji uzmanı tarafından raporlanan görüntü ilgili doktora gönderilir.Türkiye'de PET ilk kez 2000 yılının sonlarına doğru kullanılmaya başlanmıştır.

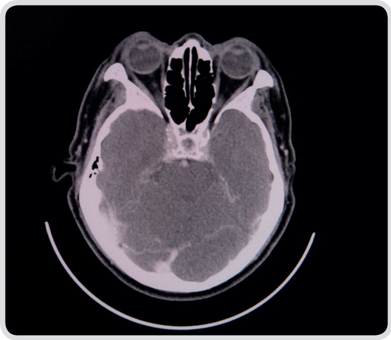
Bilgisayarlı Tomografi

BT (Bilgisayarlı tomografi), X-ışınları yardımıyla tanılama ve teşhis için kullanılan bir radyolojik inceleme yöntemidir. BT, kesitsel görüntü alınmasına imkân verir ve röntgenin çözemediği yumuşak doku kontrastına sahip olduğundan dokuların birbirinden ayrı görülmesini sağlar.

Bilgisayarlı tomografi cihazı, vücudun herhangi bir bölgesinin kesit görüntüsünü oluşturma kabiliyetine sahip elektromanyetizma ilkeleriyle çalışan bir cihazdır (Görsel 6.7). İncelenecek bölgeye X-ışınları gönderilir. Her bölgenin madde yoğunluğu farklı olduğu için gönderilen X-ışınları farklı oranlarda geçişler yapar. Bu geçişler sonucunda elde edilen veriler bilgisayarda işlenir ve elde edilen BT görüntüsü sağlıklı dokularla karşılaştırılarak teşhis konulur (Görsel 6.8).



Görsel 6.7: *Bilgisayarlı tomografi cihazı*



Görsel 6.8: *BT görüntüsü*

Ultrason (US) Cihazı

Ultrason yüksek frekanslı ses dalgasıdır. İnsan kulağı saniyede 20 Hz - 20 KHz aralığındaki sesleri duyarken ultrason frekansı 20 KHz in çok üstündedir. Ultrason cihazları tıp alanı (Görsel 6.9), denizcilik, maden aramaları, endüstri, savunma sanayisi ve daha birçok alanda görüntüleme amaçlı kullanılmaktadır.

Tıpta kullanılan ultrason cihazında ses dalgası transdüser (prob) içerisindeki piezoelektrik kristalince oluşturulur (Görsel 6.10). Oluşturulan ses dalgaları ilgili alana gönderilerek yansımaları incelenir. Organlardan yansıyarak transdüsere geri dönen dalgalar, transdüserde elektrik sinyallerine ve sonrasında da ekranda görüntüye dönüştürülür.

Ultrason cihazı hareketli organ görüntüsü alımında da kullanılabildiği için tıp alanında hastalıkların teşhisinde yaygın olarak kullanılır.

Ultrason cihazlarının geliştirilmesi Paul-Jacgues ve Pierre Curie'nin 1880 yılında piezoelektriği keşfetmesiyle başlar. Bu buluştan 35 yıl sonra ilk ultrason cihazı Paul Langevin (Pol Langevin) tarafından geliştirilir. Denizlerde güvenli yolculuk yapmak için kullanılan ultrason cihazı daha sonra medikal amaçlarla da kullanılmaya başlanmıştır.

Meraklısına Bilgi

Türk akademisyenlerin geliştirdiği ve radyasyon içermeyen görüntüleme cihazı, Türk Patent ve Marka Kurumunun düzenlediği uluslararası yarışmada altın madalya ödülü kazanmıştır. Doç. Dr. Elif İnce'nin geliştirdiği "Alt Üriner Sistem Elektrik Empadans Tomografi" cihazı ile bebeklerde ve çocuklarda radyasyon almadan görüntüleme yapılabilmektedir. Bu yöntem ile tomografi ve PET için yapılan harcamalardan %80 oranında tasarruf sağlanmıştır.

Hatırlatma

Görüntüleme cihazlarının birçoğu fizik biliminin elektromanyetik yasalarına göre çalışmaktadır.



Görsel 6.9: *Ultrason cihazı*



Görsel 6.10: *Transdüser (prob)*

Radarlar

Radar kelimesi radyo algılama ve ölçme anlamına gelen "Radio Detection and Ranging" (Radyo Dıtekşın end Renjik) kelimelerinin ilk harflerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur.

Radarların hava trafik kontrolü (Görsel 6.11: a), navigasyon, hava durumu, yer altı resimleme, füze savunma (Görsel 6.11: b), araç hız sensörleri (Görsel 6.11: c), okyanus ve hava gözlemleme, erken hava saldırı uyarısı gibi birçok kullanım alanı vardır.


a)


b)


c)

Görsel 6.11: *a) Hava radarı b) Füze radarı c) Trafik radarı*

Radyo dalgaları, ilk defa radarlarda kullanılmıştır. Günümüzde ise radarlarda mikrodalgalar kullanılmaktadır. Radar anteninden hedefe mikrodalga sinyalleri gönderilir. Hedeften yansıyıp dönen mikrodalga sinyalleri alıcı cihaz tarafından algılanır. Elde edilen bilgiler cismin uzaklığı, yönü, şekli ve sürati hakkında bilgiler içerir.

Araştırınız

Fizik biliminde elektromanyetizma yasalarından yararlanılarak yapılan görüntüleme cihazlarını araştırınız. Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.

Nicola Tesla (Nikola Tesla) 1900 yılında elektromanyetik dalgaların yansıması ile hareket eden bir cismin algılanabileceği fikrini ortaya atmıştır. Christian Hulsmeyer (Kristian Hulsmeyır) su üzerindeki trafiği denetlemek için "telemobiloskobu" icat ederek ilk pratik radar denemesini gerçekleştirmiştir.

Sonar Cihazları

Sonar cihazlarında (Görsel 6.12) ses dalgalarının yansımasından yararlanılarak görüntüleme elde edildiği için çalışma prensibi ultrason cihazlarına benzer.



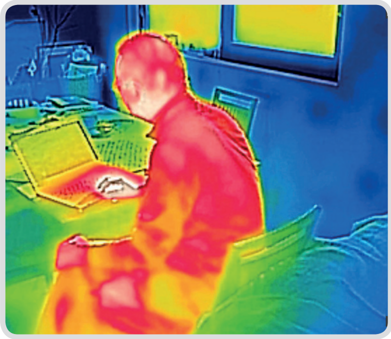
Görsel 6.12: *Sonar cihazı*

Sonar cihazı denizcilikte ve arkeolojide kullanılmaktadır. Denizcilikte balık sürülerinin saptanması ve su derinliğinin ölçülmesi amacıyla kullanılır.

Sonar cihazlarında yüksek frekanslı ses dalgaları belli bir bölgeye gönderilir. Ses dalgaları gönderilen yüzeyden yansır. Yansıyan ses dalgaları cihaz tarafından algılanarak elektrik akımına çevrilir ve monitörde görüntülenir.

Termal Kameralar

Sıcaklığı -273 °C nin üzerindeki tüm nesneler termal ışıma yapar. Nesnelerin sıcaklığına göre yayınlanan ışınların dalga boyu değişir. Canlı ve cansız varlıkların yaydığı termal ışımalar elektromanyetik dalga spektrumunun kızılötesi (infrared) bölgesine karşılık gelir. Bu nedenle göz tarafından algılanamaz. Bu ışımalar sayesinde canlı ve cansız varlıkların yaptığı termal ışımaları algılayan cihazlara **termal kamera** denir. Termal kameralarda farklı sıcaklık değerleri ekranda farklı renkte görüntü oluşturur. Oluşan görüntüde soğuk bölgeler mavi, sıcak bölgeler sarı renkte görülür. Böylelikle sıcakkanlı canlılar hem gündüz hem de gece rahatlıkla görülebilir. (Görsel 6.13).



Görsel 6.13: *Termal kamerada insan görünümü*

Termal kameralar tıp, askeri alan ve savunma sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Sıra Sizde - 1

Tablodaki cihazların çalışmasında kullanılan dalga çeşidini "✓" işareti ile işaretleyiniz.

Görüntüleme Cihazları	X-Işınları	Radyo Dalgaları	Ses Dalgası	Mikrodalga	Gama Işını	Kızılötesi
Röntgen						
MR						
PET						
BT						
Ultrason						
Radar						
Sonar						
Termal Kamera						

Sıra Sizde - 2

Röntgen ve bilgisayarlı tomografi cihazları ile ilgili

I. Tıpta teşhis amacıyla kullanılır.

II. X-ışınları ile görüntü oluşturur.

III. Üç boyutlu görüntü oluşturur.

ifadelerinden hangileri iki cihaz için de doğrudur?

Çözüm

6.1.2. LCD ve Plazma Teknolojilerinde Fizik Biliminin Yeri

Fizik bilimindeki gelişmeler teknolojinin gelişmesini hızlandırırken teknoloji alanındaki gelişmeler de fizik biliminin gelişmesini hızlandırarak günlük hayatı kolaylaştırır. Bu gelişmelerden biri de LCD (Liguid Crystal Display-Sıvı Kristal Ekran) ve plazma teknolojisidir. İnsanlar etkin olarak kullandıkları haberleşme araçları üzerinden (bilgisayar, TV, cep telefonları gibi) ekran teknolojisi ile büyük oranda etkileşim içerisindedirler. Bu alanda yakın zamana kadar görüntü ekranı olarak kullanılan ve katot ışını tüpü anlamına gelen Cathode Ray Tube (Katod Rey Tüb) kısaca CRT teknolojisi yerini daha ince, daha hafif ve düz ekran teknolojisine sahip olan LCD ve plazma teknolojisine bırakmıştır.

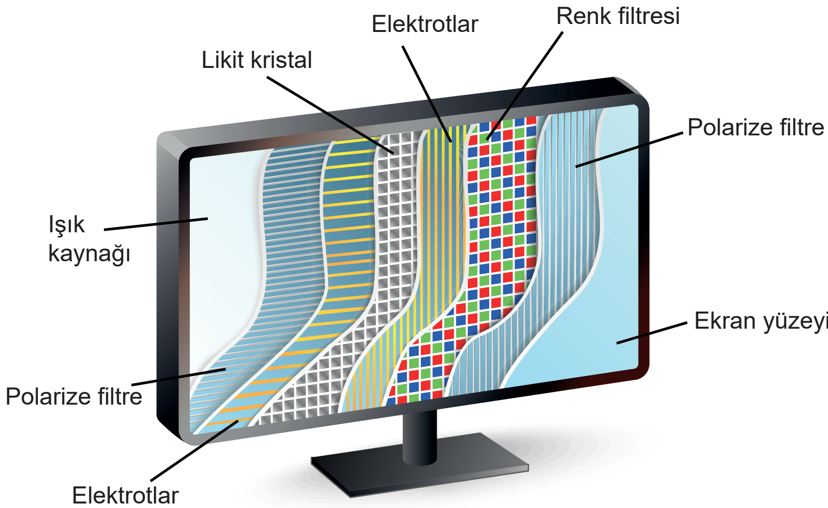
a) LCD Teknolojisi

LCD teknolojisi dizüstü bilgisayar (Görsel 6.14), tablet, televizyon ve akıllı telefon gibi cihazlarda kullanılan bir görüntü teknolojisidir.



Görsel 6.14: *Dizüstü bilgisayar*

LCD teknolojisinin yapısında sıvı kristaller bulunur. Sıvı kristaller sıcaklık değişimlerine çok duyarlıdır. Sıcaklık değişimi sonucunda değişik renk tonlarının elde edilmesi sağlanır. LCD ekran (Şekil 6.1), plastik bir tabaka içindeki sıvı kristallerin ışığı yansıtması ilkesiyle çalışmaktadır.

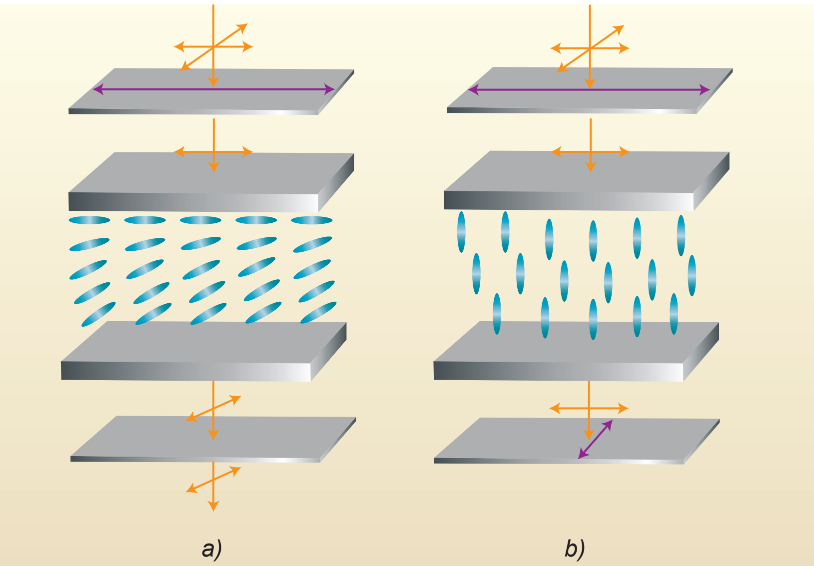


Şekil 6.1: *LCD panel yapısı*

Meraklısına Bilgi

Televizyon, cep telefonu, kamera gibi cihazlarda ekranın kalitesini belirleyen en önemli özelliklerden biri de pikseldir. Piksel (rokta) R-G-B (Red-Green-Blue) renk hücrelerinin birleşmesinden kırmızı-yeşil-mavi renkten oluşmuş görüntünün en küçük birimidir.

LCD panelleri, polarize filtreler arasında yüzbinlerce likit kristal hücreden oluşmaktadır. LCD ekranın her bir pikselinde sıvı kristal madde bulunur (Şekil 6.2: a). LCD ekranların satır ve sütunlarında bulunan piksellerin her biri elektrotlara bağlıdır. Sıvı kristaller elektrik alan uygulanmadan önce ortak eksenlerine göre gelişi güzel kıvrılmış olarak dizilir. Elektrotlar yardımıyla gerilim uygulandığında oluşan elektrik alan nedeniyle sıvı kristaller ortak eksene paralel ve düz bir biçimde sıralanarak net görüntü elde edilir (Şekil 6.2: b).



Şekil 6.2: *a) Sıvı kristal hücrelerinin gerilimi uygulanmadan önceki duruşları b) Sıvı kristal hücrelerinin gerilimi uygulandıktan sonraki duruşları*

b) Plazma Teknolojisi

Plazma teknolojisi (Görsel 6.15) görüntü kalitesi, parlak resim görüntüsüyle pastel renklerin daha iyi gösterilmesi için geliştirilmiş bir görüntüleme teknolojisidir.

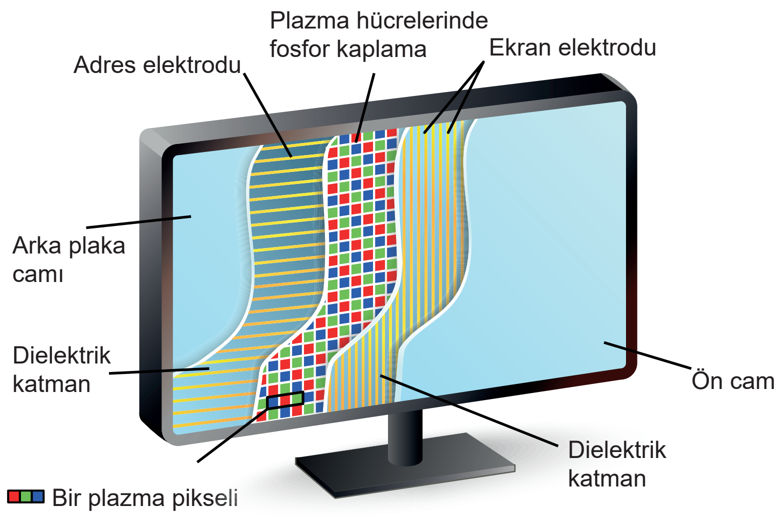


Görsel 6.15: *Plazma televizyon*

Plazma ekranlar da LCD ekranlar gibi piksellerden ve R-G-B renk piksellerinden oluşur (Şekil 6.3). Plazma teknolojisinde her piksel içerisinde özel bir gaz (neon-ksenon) ile dolu cam bölmeler bulunur. Cihaza elektrik verilerek özel gaz karışımı maddenin dördüncü hâli olan plazma hâline dönüşür ve ultraviyole (morötesi) ışın yaymaya başlar. Daha sonra bu ışın kırmızı, yeşil ve mavi renkli (R-G-B) fosfor tabakasına çarparak görünür ışık oluşturur ve net bir görüntü elde edilir.

Hatırlatma

Plazma, iyonlaşmış gaz hâlini ifade etmektedir. Plazma ilk defa 1879 yılında William Crookes (Vilyım Kıruks) tarafından bulunmuştur.



Şekil 6.3: *Plazma panel yapısı*

Sıra Sizde - 3

LCD ve plazma görüntüleme teknolojileriyle ilgili

I. Her ikisi de R-G-B renk piksellerinden oluşmaktadır.

II. Geniş ve dikdörtgen ekranlara sahiptir.

III. LCD ve plazma görüntüleme teknolojisi günlük hayatta önemli yer tutmaktadır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Çözüm

Sıra Sizde - 4

LCD ve plazma teknolojilerinde fizik biliminin yerini ve fizik bilimindeki gelişmelerin bu teknolojileri nasıl etkilediğini açıklayınız.

Çözüm

2. BÖLÜM

YARI İLETKEN TEKNOLOJİSİ

Konular

6.2.1. Yarı İletken Maddelerin Genel Özellikleri

6.2.2. Yarı İletken Malzemelerin Teknolojideki Önemi

6.2.3. LED Teknolojisinin Kullanıldığı Yerler

6.2.4. Güneş Pillerinin Çalışma Şekli

6.2.5. Günlük Hayatı Kolaylaştıran Güneş Pillerinin Kullanıldığı Sistemler

Anahtar Kavramlar

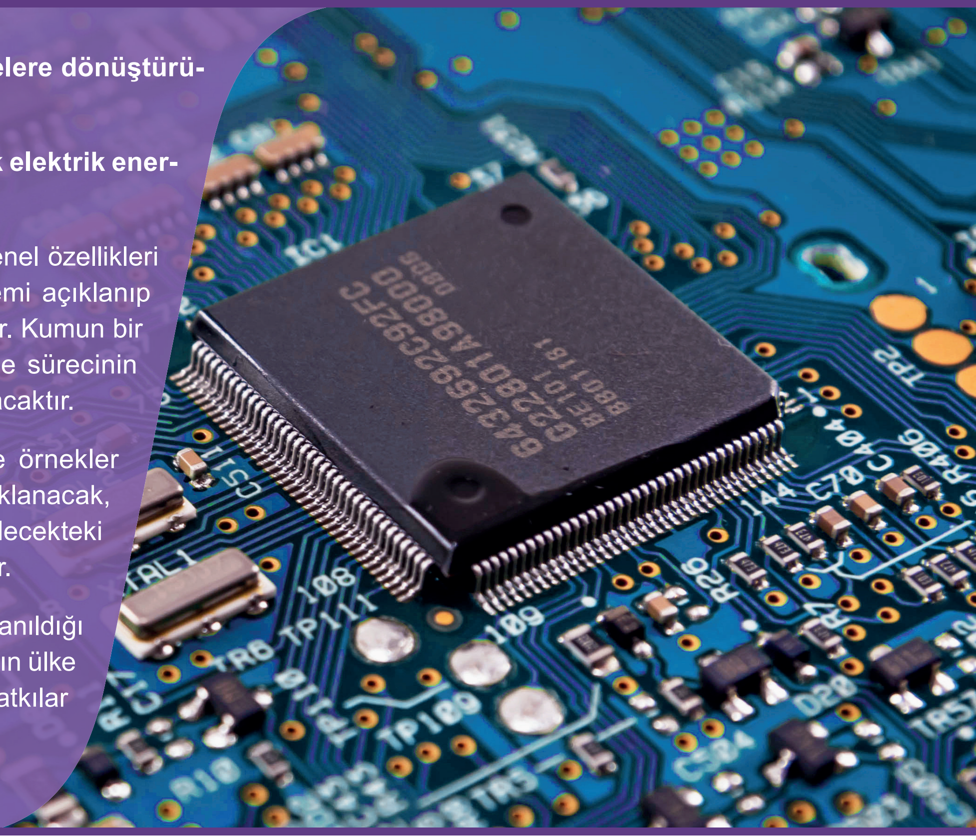
- Yarı iletken
- Diyot
- Transistör
- LED
- Güneş pili

- **Yalıtkan maddeler, iletken maddelere dönüştürülebilir mi?**
- **Güneş ışınlarından yararlanılarak elektrik enerjisi elde edilebilir mi?**

Bu bölümde yarı iletken maddelerin genel özellikleri ve bu malzemelerin teknolojideki önemi açıklanıp diyot ve transistörlerin işlevi verilecektir. Kumun bir elektronik devre elemanı hâline gelme sürecinin araştırılması ve paylaştırılması sağlanacaktır.

LED teknolojisinin kullanıldığı yerlere örnekler verilip güneş pillerinin çalışma şekli açıklanacak, güneş pillerinin günlük hayattaki ve gelecekteki yeri hakkında tartışılması sağlanacaktır.

Hayatı kolaylaştıran güneş pillerinin kullanıldığı sistemlerin tasarlanması ve bu tasarımın ülke ekonomisine ve çevreye sağlayacağı katkılar açıklanacaktır.



6.2.1. Yarı İletken Maddelerin Genel Özellikleri

Yarı iletken teknolojisi, yarı iletkenlerin özelliklerinin araştırılmasında ve bu özelliklerin kullanılarak cihaz ve sistemlerin geliştirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Isı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmek ile ilgili çabalar, yarı iletkenlerin özelliklerinin araştırılmasını öne çıkarmıştır. Bilgiye ulaşılmasını ve bilginin oluşturulmasını sağlayan, bilişim teknolojilerinin sürekli gelişip değişmesinde yarı iletken teknolojisinin önemli bir yeri vardır. Ayrıca yarı iletken maddeler elektroniğin vazgeçilmez malzemeleri arasındadır. Elektronik cihazlar, her geçen gün daha hızlı, daha küçük ve daha düşük maliyetli olmaktadır (Görsel 6.16: a, b).



a)



b)

Görsel 6.16: *a) Eski monitör b) Yeni monitör*

Yarı iletken teknolojisi havacılık, savunma ve sağlık alanından bilgisayar, uydu ve televizyon sistemlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Yarı İletkenler

Elektrik iletkenliği bakımından iletken ile yalıtkan arasında kalan maddelere **yarı iletken maddeler** denir.

Simülasyon

Yarı iletkenlerin özelliklerini karekoddan yararlanarak inceleyiniz.

Normal durumda yalıtkan olan bu maddelere ısı, ışık, elektriksel gerilim ya da manyetik etki gibi dış etkiler uygulandığında iletken hâle geçer. Uygulanan bu dış etkiler kaldırıldığında ise tekrar yalıtkan duruma döner. Yarı iletkenler bu özelliklerinden dolayı elektroniğin ve teknolojinin gelişiminde önemli bir yere sahiptir. Silisyum, germanyum ve bazı organik bileşikler yarı iletken maddelere örnek verilebilir.

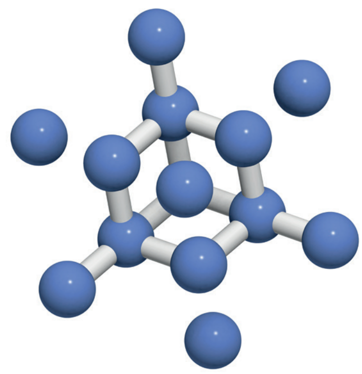
Yarı iletken maddelerin içerisine çok az miktarda uygun atom katılmasıyla elektriksel özellikleri önemli ölçüde değiştirilir. Bu şekilde N tipi ve P tipi yarı iletkenler elde edilir.

Germanyum veya silisyum kristalleri içerisine fosfor veya değerlik elektron sayısı 5 olan katkı maddelerinin katılmasıyla N tipi yarı iletkenler elde edilir. N tipi yarı iletkenlerde akım taşıyıcıları serbest elektronlardır.

Germanyum veya silisyum kristalleri içerisine alüminyum gibi değerlik elektron sayısı 3 olan katkı maddelerinin katılmasıyla P tipi yarı iletkenler elde edilir. Bu durumda germanyum ve silisyum atomlarının atomik yörüngelerinde elektron boşluğu oluşur ve elektrik akımı bu boşluklar sayesinde taşınır.

Yarı iletkenlerin özellikleri:

- İletkenlik bakımından iletken ve yalıtkanlar arasındadır.
- Normal hâldeyken yalıtkandır.
- Isı, ışık ve magnetik etki altında gerilim uygulandığında geçici iletkenlik özelliği kazanır.
- Tabiatta bulunduğu gibi laboratuvar ortamında da bileşik olarak elde edilebilir.
- Kristal yapıya sahiptir. Atomları kübik kafes sistemine uygun belirli bir düzende sıralanmıştır (Görsel 6.17).



Görsel 6.17: *Silisyumun kristal yapısı modeli*

Sıra Sizde - 5

Yarı iletken maddelerin özellikleri ile ilgili

I. İletkenlik bakımından iletken ve yalıtkan arasındadır.

II. Isı, ışık ve manyetik bir etkiyle iletkenlik özelliği gösterir.

III. Kristal yapıya sahiptir.

yargılarından hangileri doğrudur?

Çözüm

6.2.2. Yarı İletken Malzemelerin Teknolojideki Önemi

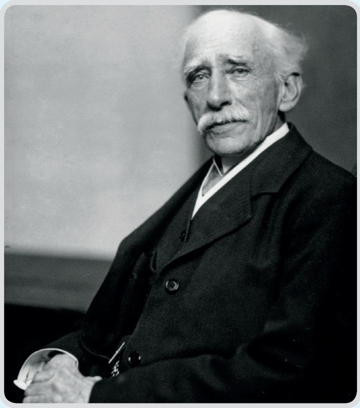
P ve N tipi yarı iletken malzemeler birlikte kullanıldığında elektronik endüstrisinde farklı işlevleri olan devre elemanları oluşturulur. P ve N ikili kullanıldığında diyotu, üçlü kullanıldığında transistörleri oluşturur.

Diyot

Diyot, akımın bir yönde akmasına izin veren yarı iletken elektronik devre elemanıdır. Diyotlara aynı zamanda **doğrultmaç** da denir. Diyotlar, germanyum ve silisyuma farklı katkı maddeleri eklenerek oluşturulan P ve N yarı iletkenlerinden elde edilir. P ve N ikilisi birleştiğinde PN eklemi oluşur ve diyotun yapısında bu eklem bulunur. P ve N yarı

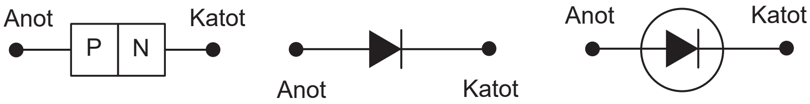
Meraklısına Bilgi

İlk diyot lamba 1904 yılında John Ambrose Flamıng (Con Ambros Flaming) tarafından yapılmıştır.



Görsel 6.18: *John Ambrose Flaming*

iletken malzemeleri ile farklı tip diyotlar elde edilir. Oluşturulan farklı tipteki diyotlar genel olarak aynı temel prensipte çalışır. Elektronik devre elemanı olan devrede Şekil 6.4'teki gibi simgelerle gösterilir.



Şekil 6.4: *Diyodun şematik gösterimi*

Diyotlar genellikle AC şebeke gerilimini, evlerde kullanılan DC gerilime dönüştürür. Evlerde prize takılarak çalıştırılan tüm cihazlarda bu devre elemanları kullanılır. Ters bağlanan diyotlarda uygulanan gerilim değeri artırılırsa diyot bozulur.

Sıra Sizde - 6

Yarı iletken maddeler ile oluşturulan ve elektronik devre elemanlarından biri olan diyot ile ilgili

I. Akımın tek yönde geçmesine izin verir.

II. Alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesinde kullanılır.

III. Elektronik devrelerde sıklıkla kullanılır.

yargılarından hangileri doğrudur?

Çözüm

Sıra Sizde - 7

Yarı iletken maddelerin teknolojideki önemini açıklayınız.

Çözüm

Transistör Nedir?

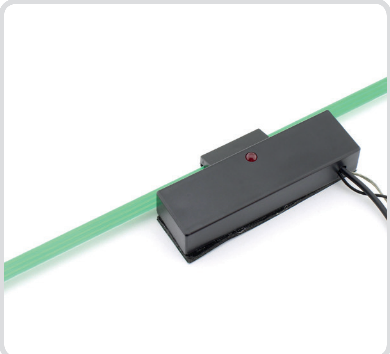
Transistör, akımı ya da gerilimi yükseltme özelliğine sahip akımın geçip geçmemesi yönüyle anahtarlama görevi yapan yarı iletken malzemelerden meydana gelmiş elektronik devre elemanıdır. Çok az enerji harcayan transistörlerin üretimi kolay ve maliyeti düşüktür. Teknolojinin en

önemli devre elemanlarından olan transistörler, bilgisayar teknolojisinin temelinde yer alır.

Her geçen gün kullanım alanları artan transistörler, günlük hayatın vazgeçilmezi olan cep telefonları, bilgisayarlar ve tüm elektronik devrelerde kullanılmaktadır. Elektrik sinyallerini yükselten elektronik devreler olan amplifikatörlerde (Görsel 6.19: a) ve araç antenlerinden (Görsel 6.19: b) kullanılan transistörler sayesinde düşük elektrik sinyalleri yükseltilerek daha güçlü hâle getirilir.



a)



b)

Görsel 6.19: *a) Amplifikatör b) Araç anteni*

Sıra Sizde - 8

Elektronik devre elemanı olan transistörlerle ilgili

I. Yarı iletken maddelerden oluşturulmuştur.

II. Elektronik devrede yükselteç ve anahtar olarak kullanılabilir.

III. Bilgisayar teknolojisinin temelinde transistörler yer alır.

yargılarından hangileri doğrudur?

Çözüm

Sıra Sizde - 9

Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler bilişim teknolojilerini nasıl etkiler? Açıklayınız.

Çözüm

6.2.3 LED (Light Emitting Diode-Işık Yayan Diyot) Teknolojisi

Araştırınız

Kumun bir elektronik devre elemanı hâline gelme sürecini araştırınız. Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.

Meraklısına Bilgi

Farklı renklerde ışınlar yayan LED'lerden kırmızı LED en az 1,5-1,6 V, turuncu 1,7 V, sarı 1,8 V, yeşil 2,2-2,4 V la ışık yaymaya başlar. 2,5 V ile 4 V tan yüksek gerilimlerde LED'ler bozulur.

Gelişen teknolojiyle birlikte insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı giderek artmaktadır. Doğal kaynakların sınırlı olması üretilen enerjinin doğal dengeye karşı tehdit oluşturması, gelecek kuşaklara yaşanabilir bir dünya bırakma düşüncesi, yaşanması muhtemel sorunların bugünden giderilmesini gerekli kılmıştır. Elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir paya sahip olan aydınlatma, enerji üretimi açısından üzerinde durulması gereken bir noktadır. Aydınlatma denildiğinde LED'ler akla gelmektedir. Işık yayan diyot olarak adlandırılan ve elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren yarı iletken devre elamanlarına **LED** denir. LED'ler diğer aydınlatma sistemlerine göre daha uzun ömürlü, daha sağlam, küçük boyutlu olmaları ve imalat maliyetlerinin de daha düşük olması sebebiyle tercih edilmektedir. LED'ler hesap makinelerinde, ışıklı panolarda (Görsel 6.20: a), genel amaçlı aydınlatmalarda (Görsel 6.20: b) uzaktan kumandalarda (Görsel 6.20: c), TV, bilgisayar, cep telefonu ekranlarında ve kızılötesi ışık yayan aletlerde kullanılmaktadır.



a) b) c)

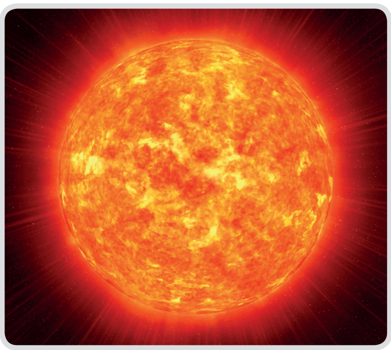
Görsel 6.20: *a) LED lambalı pano b) LED lamba ile aydınlatılmış ortam c) TV kumandası*

Sıra Sizde - 10

LED teknolojisinin ülke ekonomisine katkısını açıklayarak kullanım yerlerine günlük hayattan örnekler veriniz.

Çözüm

6.2.4. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi



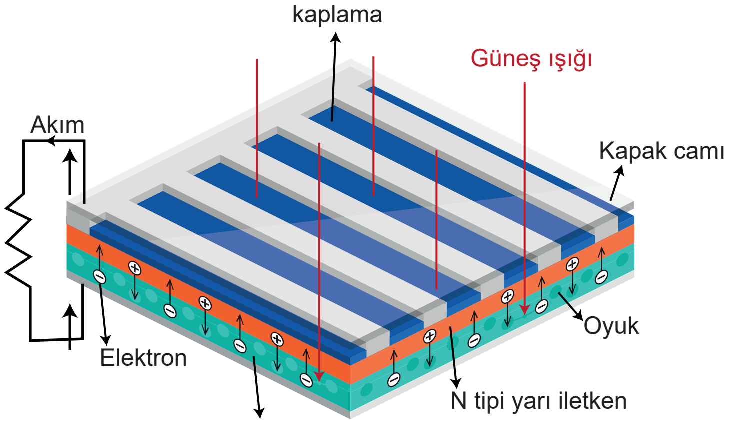
Görsel 6.21: *Güneş*

Yaşam kaynağı olan Güneş (Görsel 6.21) yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş'ten Dünya'ya gelen bir dakikalık güneş enerjisi, yaklaşık dünyanın bir yıllık enerji tüketimini karşılayacak güçtedir.

Güneş enerjisi, yüksek sıcaklık ve basınç altında meydana gelen füzyon (birleşme) reaksiyonları sonucunda açığa çıkan enerjidir. Güneş enerjisinden yararlanma 1970'li yıllardan sonra hız kazanmıştır. Genellikle ısı enerjisi olarak kullanılan güneş enerjisi gelişen teknoloji ile birlikte güneş panelleri ve fotovoltaik piller sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve kullanılmaktadır.

Güneş pilleri (fotovoltaik pil), yapısında bulunan yarı iletkenler yardımıyla yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir.

Güneş pilleri P ve N tipi yarı iletkenlerden meydana gelmektedir. Bir fotovoltaik pilin dönüşüm sistemi Şekil 6.5'teki gibidir.



Şekil 6.5: *Fotovoltaik dönüşüm sistemi*

Güneş ışığından gelen fotonlar farklı dalga boylarına dolayısıyla farklı enerjilere sahiptir. Fotonlar, fotovoltaik yüzeye çarptığında yansıma ya da soğurulma yapabilir. Foton soğurulursa fotonun enerjisi elektrona aktarılır. Elektron, kazandığı bu enerjiyle serbest hareket ederek elektrik akımını oluşturur.

Güneş enerjisinin yenilenebilir bir enerji olması nedeniyle gelişen teknolojide güneş pillerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Günlük hayatta geniş bir kullanım ağına sahip fotovoltaik panellerden güneş arabaları (Görsel 6.22: a), sokak aydınlatma sistemleri (Görsel 6.22: b), yapay uydular, güneş enerjili şarj cihazları, GSM baz istasyonları, trafik ışıkları, deniz taşıtları gibi birçok alanda yararlanılmaktadır.

Güneş pillerinin kullanıldığı sistemlerden bazıları da şunlardır:

- Haberleşme
- Hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatmaları
- Deniz fenerleri
- İlaç ve aşı soğutma
- Tarım alanları

Araştırınız

Güneş pillerinin günümüzdeki ve gelecekteki yerini araştırınız. Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız.



a)



b)

Görsel 6.22: *a) Güneş enerjisiyle çalışan araç b) Güneş enerjisiyle çalışan sokak lambası*

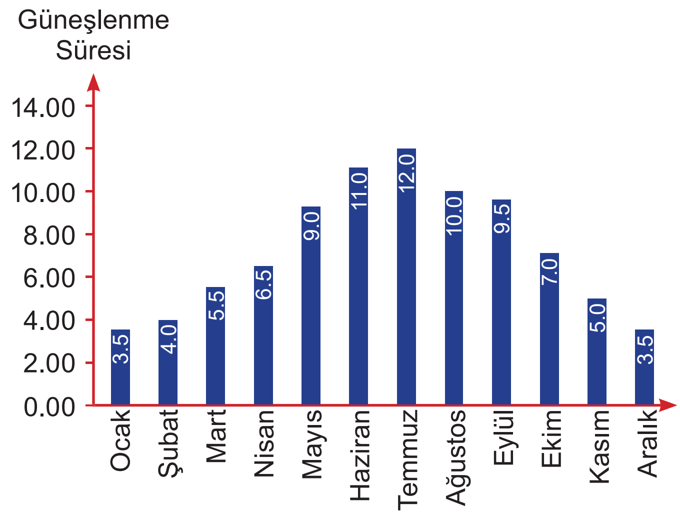
Sıra Sizde - 11

Güneş pillerinin çalışma şeklini kısaca açıklayınız.

Çözüm

Sıra Sizde - 12

Güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynağı olması ve çevre kirliliğine yol açmaması gibi birçok nedenden dolayı güneş enerjisi, fotovoltaik piller (güneş panelleri) ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. 1 kW'lık bir fotovoltaik sistem tam güneş ışığı aldığında saatte 1kW (1kWh) elektrik enerjisi üretmektedir.



Aylara göre günlük ortalama güneşlenme süresi

Aylara göre günlük ortalama güneşlenme süresi sütun grafiği şekildeki gibi verilen bir bölgede bulunan ve günlük 15 kWh elektrik enerjisi kullanan binanın çatısına 200 W lık beş adet güneş paneli kuruluyor.

Elektrik enerjisinin 1 kilowattsaati 40 kuruş ile ücretlendirildiğine göre

a) **Temmuz ayında gelecek elektrik faturası kaç TL dir?**

b) **Oluşturulan sistem yıllık yaklaşık % kaç enerji tasarrufu sağlamaktadır?** (Bir ay 30 gün olarak kabul edilecektir.)

Çözüm

PROJE

PROJE

GÜNEŞ PİLLERİ KULLANARAK GÜNLÜK HAYATI KOLAYLAŞTIRACAK BİR SİSTEM TASARLAMAK	
İçerik	Güneş pilleriyle tasarladığınız bu sistemin ülke ekonomisine ve çevreye sağlayacağı katkılar
Süre	20 gün
Beceriler	Problem çözme becerisi, araştırma-sorgulama, bilgi teknolojilerini kullanma, iletişim
Beklenen Performans	Grup çalışması yapma, araştırma, proje üretme, rapor hazırlama, bilgisayarda sunum yapma
Değerlendirme	Puanlama

Ölçüt Grubu	Ölçütler	Beklenen Seviyenin Altında (1)	Beklenen Seviyede (2)	Beklenen Seviyenin Üstünde (3)
Grup Çalışması	Grup üyeleri üzerlerine düşen görevi yaptı.			
	Grup üyeleri birlikte çalıştı.			
Araştırma Yapma	En az 4 kaynaktan yararlanıldı.			
	Bilgisayar ve Genel Ağ'dan yararlanıldı.			
	Üniversitelerdeki ilgili bölümlerle koordinasyonlu çalışıldı.			
Rapor Hazırlama	Raporda istenilen bilgiye yer verildi.			
	Yapılan çalışmalar özetlendi.			
	Yazım kurallarına dikkat edildi.			

PROJE

Proje	Güneş pilleri kullanılarak günlük hayatı kolaylaştıracak bir sistem geliştirildi.			
	Proje uygulanabilirdi.			
	Proje özgündü.			
Sunum	Bilgisayar ve Genel Ağ kullanıldı.			
	Sunum anlaşılır bir şekilde yapıldı.			
Gerekli Eklemeler				

Bu çalışmada güneş pillerinin hazırlanması günlük hayatı kolaylaştıracak bir sistemi tasarlamak için gereken çalışmaların ve araştırmaların yapılması, bilgi toplanması, bilginin bir proje hâline getirilmesi ve projenin paylaşılması istenmektedir.

Bu çalışma yapılırken aşağıdaki adımların takip edilmesi kolaylık sağlayacaktır.

1. Altışar kişilik gruplar oluşturunuz.
2. Çalışmalarınızı planlayınız.
3. Planlama doğrultusunda görev dağılımını eşit bir şekilde yapınız. Bir araştırma takvimi belirleyiniz ve araştırmalara başlayınız.
4. Yaptığınız araştırmalar ışığında güneş enerjisinden faydalanarak ülke ekonomisine ve çevreye katkı sağlayabilecek ne gibi tedbirler alınabilir tartışınız.
5. Güneş enerjisinden faydalanarak ülke ekonomisine ve çevreye katkısı olabilecek bir sistemi proje olarak geliştiriniz.
6. Proje için gerekli olan bütçe planlamasını yapınız.
7. Araştırma sonuçlarınızı, bütçe giderlerini ve çözüm önerilerini rapor hâline getiriniz.
8. Projenizi tanıtmak için broşür, poster ve bilgisayar sunumu hazırlayınız.

Yapılan araştırmaları ve çalışmaları belirtilen tarihte rapor hâlinde ve bilgisayar sunumu ile sınıf ortamında arkadaşlarınız ve öğretmeninizle paylaşınız. Yaptığınız çalışmaların ne oranda gerçekleştiğini belirterek bir değerlendirme yapınız.

3. BÖLÜM

SÜPER İLETKENLER

Konular

Anahtar Kavramlar

- Süper iletken

- **Direnci olmayan bir iletken düşünülebilir mi?**
- **Herhangi bir potansiyel fark uygulanmadan sürekli bir akım elde edilebilir mi?**

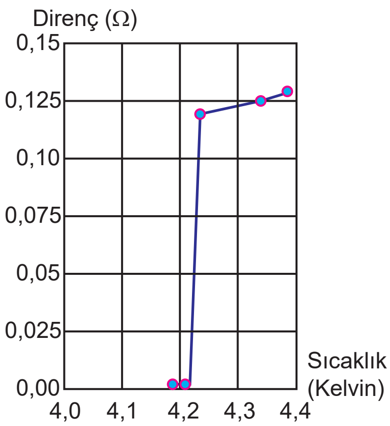
Bu bölümde süper iletken maddenin temel özellikleri açıklanıp teknolojideki kullanım alanlarına örnekler verilerek hızlı trenlerin ve parçacık hızlandırıcılarının çalışma ilkeleri üzerinde durulacaktır.



6.3.1. Süper İletken Maddenin Temel Özellikleri

Elektrik santrallerinden üretilen elektrik enerjisinin üretimi ve dağıtımı sırasında elektrik şebekesinde kullanılan tellerin direncinden dolayı amaç dışı ısıya dönüşen elektrik enerjisi oldukça fazladır. Elektrik akımı iletiminde kayıplar azaltılırsa ciddi tasarruflar elde edilir. Böyle bir iletim ancak direnci sıfır olan malzemelerle mümkün olur.

Belirli bir sıcaklık değerinde elektrik akımına karşı direnç göstermeyen maddelere **süper iletken madde** denir. Süper iletkenlik, herhangi bir iletkenin elektrik direncinin kritik bir sıcaklık (süper iletkenliğe geçiş sıcaklığı) ve kritik bir manyetik alan altında tamamen ortadan kalkmasıdır.



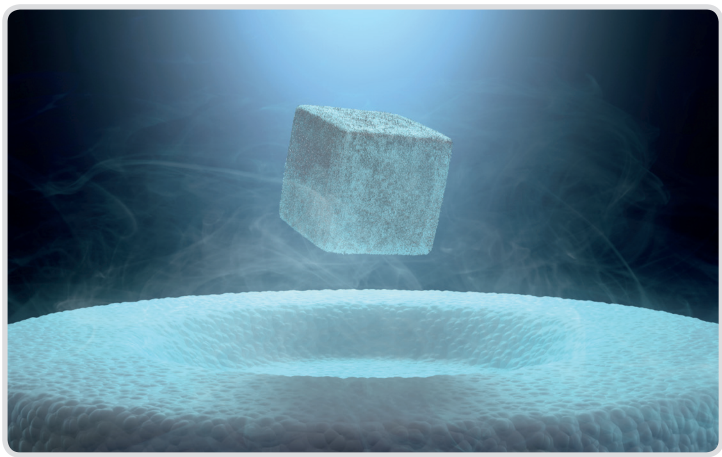
Şekil 6.6: *Cıvanın direncinin sıcaklığa bağlı değişim grafiği*

Süper iletkenlikle ilgili çalışmalar ilk kez 1908 yılında Hollandalı Fizikçi Heike Kamerlingh Onnes'in (Heke Kemirlin Ons) helyumu sıvılaştırması ile başlamıştır. Sıvı helyumun üretilmesiyle düşük sıcaklıklarda katı maddelerin fiziksel özelliklerini inceleme imkânı sağlanmıştır. Heike Kamerling Onnes, bu alandaki çalışmalarıyla 1913 yılında Nobel Ödülü almıştır.

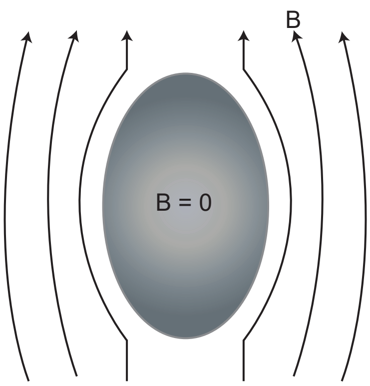
Bu keşiften sonra çok sayıda element, alaşım ve bileşiklerin düşük sıcaklıkta iletkenlikleri incelenmiş, hangi katıların hangi kritik sıcaklıkta süper iletken olduğu tespit edilmiş ve bu maddelerin özellikleri incelenerek endüstriyel kullanıma yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Oda sıcaklığında iyi iletken olarak bilinen demir, gümüş, altın ve bakır soğutulduğunda süper iletkenlik gösteremez. Bilinen süper iletkenlerin bir çoğu alaşım ve bileşiklerdir.

Süper iletkenlerin kritik sıcaklıkta sıfır direnç göstermelerinin (Şekil 6.6) yanı sıra yakınlarında bulunan herhangi bir manyetik alanı dışlamaları da ayırt edici özelliklerindendir. Bir mıknatıs, kritik sıcaklığın altında bulunan bir süper iletkeni ters kutuplu bir mıknatıs gibi iter (Görsel 6.23).



Görsel 6.23: *Süper iletken bir materyalin manyetik alan itmesi*



Şekil 6.7: *Süper iletken maddenin manyetik alanı dışlaması*

Manyetik alanın süper iletken yapı içerisinden dışlanması olayı Meissner olayı olarak bilinmektedir. Bu dışlama uygulanan manyetik alanın çizgilerini süper iletkenin yüzeyinde birbirine daha yakın hâle getirerek süper iletken içerisinden uzaklaştırır (Şekil 6.7).

Süper iletkenlik için önemli bir diğer parametre de kritik manyetik alandır. Bu kritik manyetik alan kritik sıcaklık ile uyum içindedir. Süper iletken malzemeler, kritik manyetik alan durumuna göre I. tip ve II. tip süper iletkenler olmak üzere ikiye ayrılır. I. tip süper iletkenler, sadece belirli bir kritik manyetik alan değerinin altında, II. tip süper iletkenler, alt ve üst kritik alanlar olmak üzere iki kritik manyetik alan değerinde süper iletkenlik davranışı gösterir.

Süper iletkenliğin iki temel özelliği vardır:

1. Elektrik akımına karşı oluşan direncin kritik bir sıcaklık değerinde tamamen ortadan kalkması ve elektronların dirençle karşılaşmaması

2. Süper iletkenin içine manyetik alanın nüfuz edememesi

6.3.2. Süper İletkenliğin Teknolojideki Kullanım Alanları

Süper iletken maddelerin temel özellikleri, onların teknolojik açıdan ön plana çıkmalarını sağlar.

Süper iletkenler, elektrik akımına karşı sıfır direnç göstermesi ve kayıpsız olarak elektrik akımını iletmesiyle birlikte elektrik akımının taşınmasında, depolanmasında, güçlü mıknatısların yapılmasında ve elektrikle çalışan hassas cihazların yapımında önemli bir yer tutmaktadır. Neredeyse ışık hızına yakın sinyal taşıma kapasitesine sahip olması ise haberleşmede, savunma sanayinde ve mikrodalga teknolojisinde önem arz ederken elektronik devrelerde ve cihazlarda ısınma problemini de ortadan kaldırmaktadır.



Görsel 6.24: *MAGLEV treni*

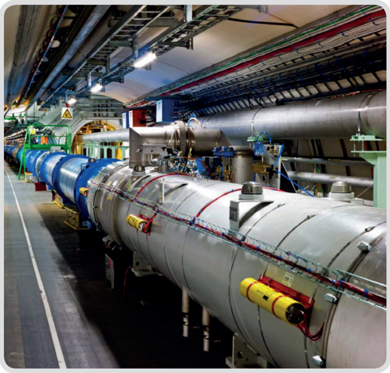
Süper iletken malzemelerin manyetik özellikleri de elektriksel özellikleri gibi teknolojide önemli bir yere sahiptir. Süper iletkenlerin manyetik alanları dışarılamaları sonucunda manyetik bir itme kuvvetinin oluşması hızlı trenlerin (MAGLEV-Manyetik Levitasyon Treni) temelini oluşturmaktadır (Görsel 6.24).

MAGLEV trenleri özel bir ray üzerinde (manyetik yastık) trenin her iki ucunda bulunan süper soğutmalı süper iletken mıknatıslar sayesinde yükseltilir. Tren hareket ettiğinde raydaki iletkenlere verilen elektrik akımı bir itme gücü oluşturur ve tren hızlanır. Tren 100 km/h hızı aştığında tekerlekleri içe katlanır ve havalanmaya başlar. Sürtünmelerin en aza düşürüldüğü ortamda tren çok yüksek hızlara ulaşabilir. Tren durdurulmak istendiğinde ise akımın yönü ters çevrilir ve zıt yönde bir itme gücü ile durdurulur.



Görsel 6.25: *MR Cihazı*

Süper iletkenler sayesinde yüksek manyetik akım yoğunluğunun elde edilebilmesi manyetik rezonans (MR) görüntüleme cihazlarının (Görsel 6.25) geliştirilmesinde etkili olmuştur.



Görsel 6.26: *Parçacık hızlandırıcılarda kullanılan süper iletken bobin*

Nükleer fiziğin gelişmesinde önemli bir yere sahip olan parçacık çarpıştırma deneylerinde parçacıkların hızlandırılması ve merkeze bağlı tutunabilmeleri için gerekli olan güçlü mıknatıslar süper iletken malzemeler kullanılarak yapılmaktadır (Görsel 6.26). Bu mıknatıslar ileri düzeyde ve daha hassas deneyler yapılmasına ve fizik biliminin daha hızla gelişmesine yardımcı olmaktadır.

Örnek

Süper iletken madde için

I. Elektrik akımına karşı sıfır direnç gösterir.

II. Enerji taşınımında tasarruf sağlar.

III. Manyetik alana bırakıldıklarında bir itme kuvveti oluştururlar.

yargılarından hangileri doğrudur?

Çözüm

Kritik sıcaklıkta iletkenin direnci sıfıra düşürüldüğünden enerji kaybı olmaz. Akıma karşı zorluk göstermez ve ısı kaybı azalmış olur. Bu şekilde enerji taşınımında tasarruf sağlanır. Süper iletkenlerin fiziksel özelliklerinden biri de manyetik alana bırakıldıklarında manyetik bir itme kuvveti oluşturmasıdır. Bu durumda **I**, **II** ve **III**. öncüller doğru olur.

Sıra Sizde - 13

Süper iletken maddelerin özelliklerini açıklayınız.

Çözüm

Sıra Sizde - 14

Süper iletkenler günümüzde tıp, ulaşım, sağlık vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

Süper iletkenlerin teknolojideki kullanım alanlarını araştırarak sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

Çözüm

4. BÖLÜM NANOTEKNOLOJİ

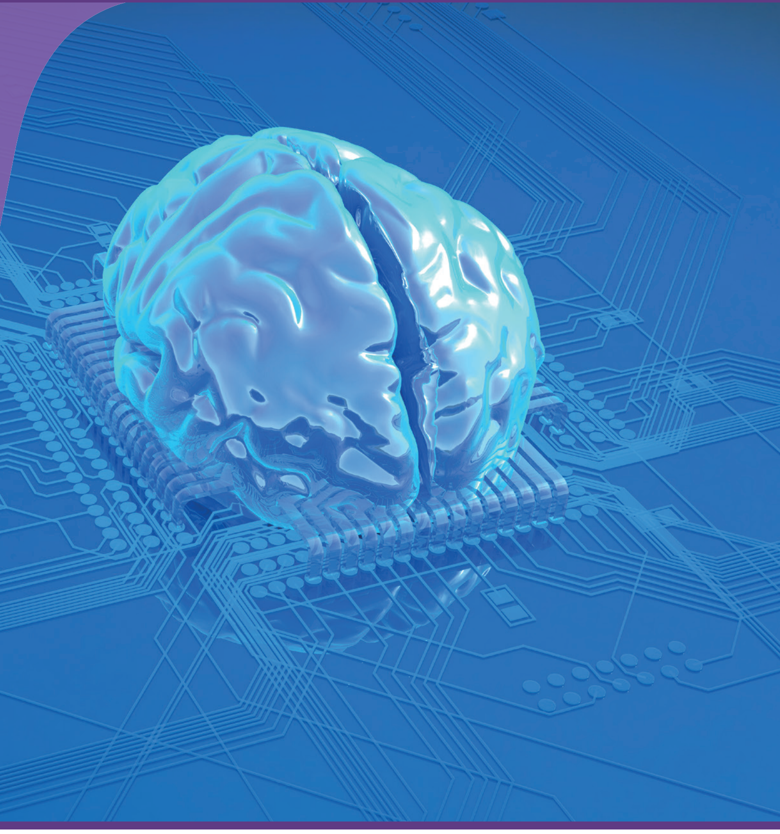
Konular

Anahtar Kavramlar

- Nanoteknoloji
- Nanobilim

- **Yüzbinlerce sinema filmi bir DVD'ye sıkıştırılabilir mi?**
- **Büyük bir okul kampüsünün maketi toplu iğne başı boyutunda yapılabilir mi?**

Bu bölümde fizik bilimi ile nanobilim ve nanoteknolojinin ilişkisi üzerinde durulup fonksiyonel ve doğal nanoyapılara sahip sistemlere örnekler verilecektir. Malzemelerin nano boyutlara indirilmesi durumunda kazandıkları yeni özellikler ile nanomalzemelerin bilim ve teknolojinin gelişimine etkisi vurgulanacaktır.



6.4.1. Nanobilimin Temelleri

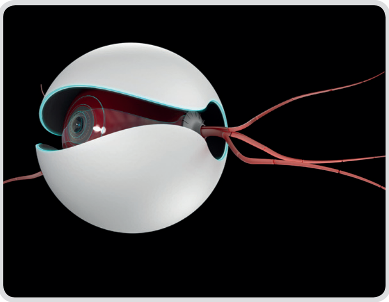
Nanoteknolojinin ölçeği olan bir nanometre (nm) metrenin milyarda birine (10^{-9} m) eşittir. Nano kelimesi Yunancada "cüce" anlamına gelen "nanos" kelimesinden gelmektedir.

Kuantum fiziğinin günlük hayatta işlevsellik kazanma sürecinde önemli bir yere sahip olan nano yapılar, 1-100 nm arasındaki yapılardır. Bu boyutlarda sistemlerin fiziksel davranışlarında farklı özellikler gözlenir. Bu özellikleri kuantum fiziğinin ilkelerinden yararlanarak açıklayan bilim dalına **nanobilim** denir. Nanobilimden elde edilen sonuçların hayatın içindeki uygulamaları olan **nanoteknoloji** ise yeni yapılar tasarlanmasını ya da bu yapılara yeni özellikler kazandırılıp yeni işlevlerde kullanılmasını sağlar.

Yarı iletken malzemelerin üretiminden bu yana günlük hayatta kullanılan elektronik cihazlar ve malzemeler küçültülmeye çalışılmaktadır. Nanoteknolojinin amacı, nano boyutlarda aygıtlar geliştirmek (Görsel 6.27) ve bunların günlük hayatta kullanılmalarını sağlamaktır.

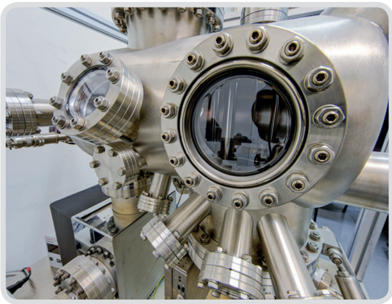
Meraklısına Bilgi

Richard P. Feynman 1959'da "There is Plenty of Room at the Bottom (Der is Pilenti of Rum at Badım)" adlı konuşmasında her şeyi küçük bir ölçekte yönlendirme ve denetleme düşüncesini dile getirmiştir. Feynman, bir sayfayı boyutunun $\frac{1}{25\,000}$ küçülterek bir elektron mikroskobuyla sayfanın hâlâ okunabildiğini ve elektronlarla toplu iğnenin başına çok küçük yazılar yazılabileceğini ifade etmiştir.

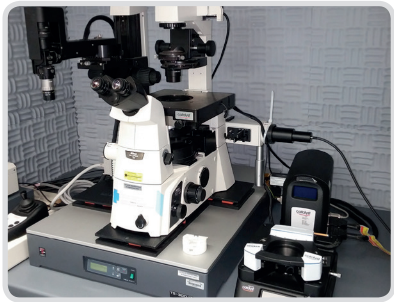


Görsel 6.27: *Nano robot*

Nanoteknoloji **en küçük maddelerin teknolojisi** olarak da tanımlanabilir. Taramalı tünelleme mikroskobu (Görsel 6.28: a) ve atomik kuvvet mikroskobu (Görsel 6.28: b) yardımıyla malzemenin yüzeyinde bulunan atomların ve atomsal düzeyde oluşan tepkimelerin gözlenmesi mümkündür. Bu sayede nano ölçeğindeki maddeler, atomlar ve moleküller incelenebilir duruma gelmiştir.



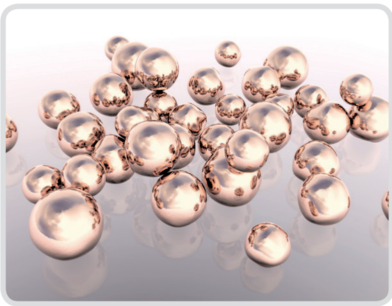
a)



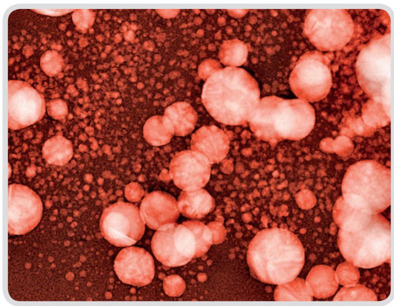
b)

Görsel 6.28: *a) Tarayıcı tünelleme mikroskobu b) Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)*

Görüntüleri bu mikroskoplarla elde edilmiş bakır ve altın nano partikülleri Görsel 6.29: a, b'deki gibidir.



a)



b)

Görsel 6.29: *a) Bakır nanopartikülleri b) Altın nanopartikülleri*

Lotus çiçeği (Görsel 6.30) birçok ülkede saflığın sembolü olarak anılmaktadır. Bunun sebebi lotus çiçeğinin kendi kendini temizleyebilme özelliğine sahip olmasıdır. Çiçeğin toprağa doğru eğimli yapıya sahip yapraklarındaki mikro ve nano boyuttaki yapılar yaprakların ıslanmasını engellemekte, yaprak üzerindeki küçük böcekleri ya da toz zerreciklerini suyla birlikte çiçekten uzaklaştırmaktadır. Lotus yapraklarının bu özelliği ıslanmayan kumaşların üretilmesine ilham kaynağı olmuş, bilim insanlarını kendi kendini temizleyebilen kumaşlar üzerine çalışmaya yönlendirmiştir.



Görsel 6.30: *Lotus çiçeği*



Görsel 6.31: *Morpho rhetenor kelebeği*



Görsel 6.32: *Kertenkele ayağı*

Morpho rhetenor (Morfo retenor) (Görsel 6.31) türü kelebeklerin kanatları çok katmanlı tabakalar ve boşluklardan oluşur. Son derece düzenli dizilime sahip bu yapılar fotonik kristal (fotonik kristaller ışığın kontrol edilerek üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasına izin veren yapılardır.) bir yapı meydana getirir. Bu yapı yalnızca mavi renkli ışığı yansıtıp diğer dalga boyundaki ışıkları geçirdiği için, kelebek kanatları parlak mavi renkte görülmektedir. Morpho kelebeklerinin kanatları fotovoltaik güneş pillerinin geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

Kertenkelelerin ayak tabanlarındaki (Görsel 6.32) milyonlarca tüycük, onların duvar ya da tavana tutunmaları sağlar. Bilim insanlarının bu doğal yapı üzerinde yaptıkları çalışmalar yeni nesil yapıştırıcı malzemelerin geliştirilmesini sağlamıştır.

Sonuç olarak nanobilim ve nanoteknolojinin odak noktaları kuantum etkileri gibi temel fizik araştırması içeren konuların yanında atomik boyutta görüntülemede deneysel yöntemlerin geliştirilmesi ve nano boyutlarda ölçüm yapabilme teknikleri ortaya çıkarak düşük boyutlarda eş tip malzeme üretebilme, malzeme yapısını atomik boyutlarda kontrol edebilme, kızılötesi ve morötesi radyasyonlara karşı tepkisi kontrol edilebilir malzeme ve özel amaca yönelik aygıtlar gelişmektedir.

6.4.2. Nanomalzemelerin Temel Özellikleri

Nanomalzemeler kullanım alanlarına ve boyutlarına göre nanoparçacıklar, nanoteller ve nanolevhalar şeklinde gruplandırılır.

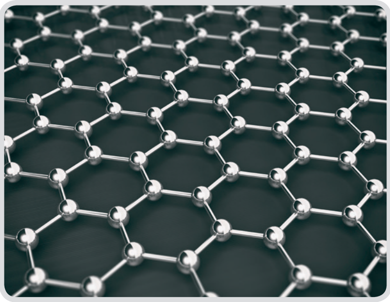
Malzemenin boyutları nanometre ebatlarına inince normal özelliklerinden çok farklı beklenmedik özelliklere sahip olur. Normalde kırılgan malzeme olan seramik, nanometre değerine indirildiğinde kolaylıkla deforme olup şekillendirilebilir. Nanometre büyüklüğündeki altın tanesi

kırmızı renk gösterir. Bakır, nano boyutta saydam hâle gelmektedir. Alüminyum yanıcı olmadığı hâlde nano boyutta yanıcı madde özelliği gösterir.

Yarı iletken teknolojisinin en önemli malzemelerinden olan silisyum, nanoteknolojide sıkça kullanılan bir malzemedir. Silisyum tel hâline getirildiğinde iyi bir iletken durumuna geçer. Nanoteknolojide sıkça kullanılan malzemelerden biri de karbon elementidir.

Kurşun kalemlerin içinde bulunan karbon atomlarından oluşan grafit yumuşak ve iletkendir. Tek boyutta karbon atomlarının oluşturduğu grafen (Görsel 6.33) ise normal koşullarda kararlı ve çok güçlü atom zincirleri şeklinde iyi iletkendir.

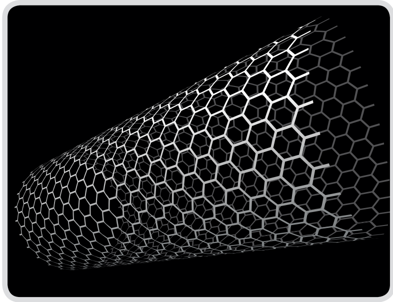
Grafenin elektrik akımını iyi iletmesi ve elektrik alanına karşı gösterdiği tepkiler nedeniyle transistörlerin yapımı için çok önemli bir malzemedir. Ayrıca saydam ve esnek olması nedeniyle katlanabilir ekran (Görsel 6.34) teknolojisinin gelişmesinde önemli yeri vardır.



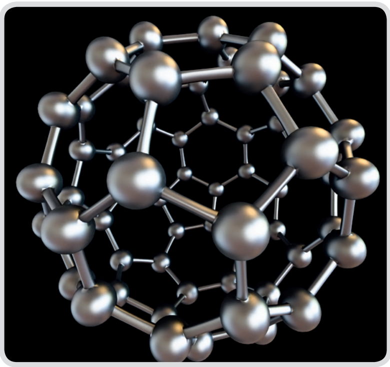
Görsel 6.33: *Grafen*



Görsel 6.34: *Katlanabilir ekran*



Görsel 6.35: *Karbon nanotüp*



Görsel 6.36: *Fulleren*

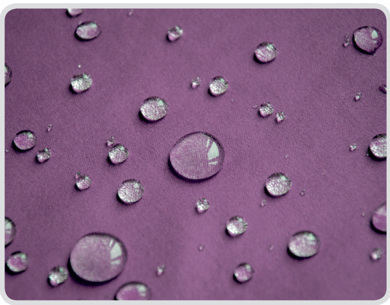
Nanoteknolojide üretilen malzemelerin birçoğunda belirli bir düzende kesilip yuvarlanan grafenden elde edilen karbon nanotüpler (Görsel 6.35) kullanılmaktadır.

Nanoteknolojide sıkça kullanılan malzemelerden biri de fullerendir. Fullerenler 60 tane karbon atomundan oluşmuş top şeklindeki kapalı kafes yapısıdır (Görsel 6.36). Fullerenler kullanıldıkları yüzeylerin hem elektriksel hem de optiksel yapılarını değiştirir.

6.4.3. Nanomalzemelerin Teknolojideki Kullanım Alanları

Nanoteknoloji, üretilen malzemelerin çeşitliliği, üretilen malzemelerin geliştirilerek yeni nanomalzemelere dönüştürülebilmesi ve nanobilimin katkılarıyla sürekli gelişmektedir.

Nanometre ölçeklerinde malzemenin sahip olduğu fiziksel özellikler kullanılarak bilişim, iletişim, elektronik, biyoteknoloji, farmakoloji, tıp, savunma, tekstil, makine ve inşaat sanayisinde teknolojik devrim niteliğinde ürünler elde edilmiştir.

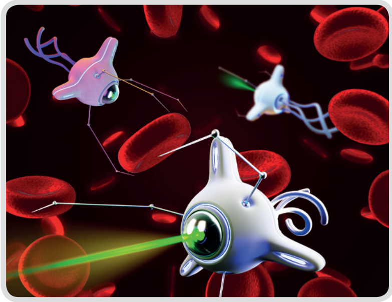


Görsel 6.37: *Su ve kir tutmayan nanokumaş*

Kendini temizleme özelliğine sahip duvar boyaları, kir tutmayan halı ve kumaşlar (Görsel 6.37) kırışmayan kıyafetler nanoteknoloji sayesinde günlük yaşama girmiştir. Suyu ittiği için silecek gerekmeyen otomobil camları, kendi kendini temizleyen bina dış cepheleri, yosun ve deniz

hayvanlarının yapışmadığı gemi dış yüzey boyaları ve sürtünmesiz yüzeyler yakın bir gelecekte üretilebilecektir.

Tıp alanında kullanılan nanorobotlar (Görsel 6.38) ilerleyen zamanlarda vücuttaki hastalıkları tespit edebilir ve hastalıklı hücreleri yok edip hasarlı hücreleri onarabilir hâle gelecektir.



Görsel 6.38: *Tıpta kullanılan nanorobotlar*

Sıra Sizde - 15

Nanobilimin temellerini yazınız. Nanobilim ve nanoteknoloji arasındaki ilişkiyi açıklayınız.

Çözüm

Sıra Sizde - 16

Nanoteknolojide sıkça kullanılan maddeleri yazınız. Katlanabilir ekran teknolojisinde grafenin hangi özelliklerinden yararlanıldığını açıklayınız.

Çözüm

Sıra Sizde - 17

Nanoteknolojinin tıpta, tekstilde ve elektronik teknolojisinde kullanım alanlarına ait örnekler veriniz.

Çözüm

5. BÖLÜM

LASER IŞINLARI

Konular

6.5.1. LASER Işınlarının Elde Edilişi

6.5.2. LASER Işınlarının Teknolojideki Kullanım Alanları

- LASER

- **Işığın istenildiği zaman bıçak gibi kesici bir duruma getirilebileceğini biliyor musunuz?**
- **LASER ışınlarının normal ışıktan farkı ne olabilir?**

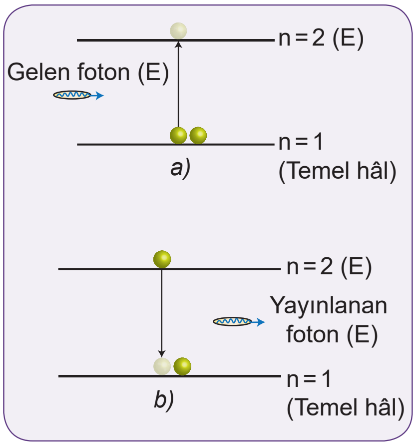
Bu bölümde simülasyonlar ve videolar yardımıyla LASER ışınının oluşumunun incelenmesi sağlanıp LASER ışınlarının teknolojideki kullanım alanlarına örnekler verilecektir.



6.5.1. LASER Işınlarının Elde Edilişi

LASER kelimesi İngilizce “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (Layt Amplifikeyşın bay Stımulted Emişın of Redieyşın) kelimelerin baş harflerinden oluşmaktadır. LASER ışınları 1960 yılında Theodore Harold Maiman (Tidor Herıld Mimın) tarafından keşfedilmiş, bu keşiften sonra LASER kullanımında önemli gelişmeler olmuştur.

Atom uyarıldığında, temel hâldeki elektronu üst enerji seviyesine çıkar (Şekil 6.8: a). Elektron bu enerji seviyesinde yaklaşık 10^{-8} s kalarak temel hâle döner. Elektron üst enerji seviyesinden alt enerji seviyesine dönerken iki enerji seviyesi arasındaki enerji farkına sahip foton yayınlar (Şekil 6.8: b). Fotonun enerjisini veren ifade $h \cdot f_1 = E_2 - E_1$ şeklindedir.

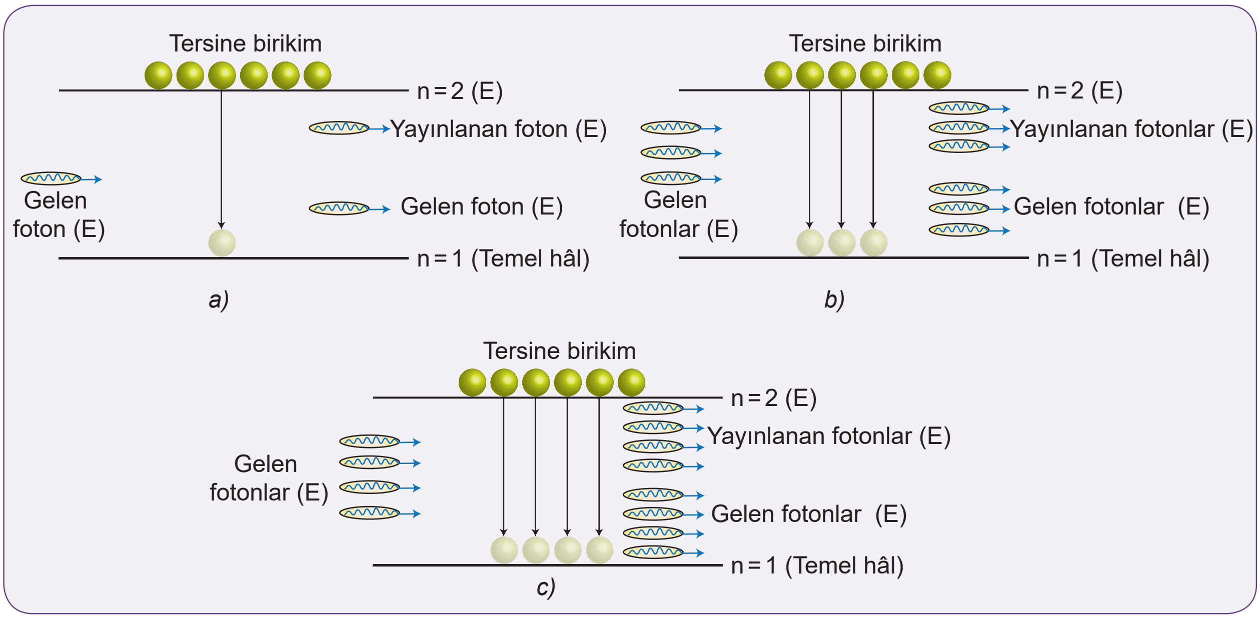


Şekil 6.8: *a, b) Kendiliğinden emisyon*

Uyarılmış atomun bir dış etki olmaksızın temel hâle dönmesi olayına **kendiliğinden emisyon** (ışıma) adı verilir.

Uyarılmış atom fotonlarla bombardıman edilmeye devam edildiğinde, uyarılma düzeyindeki elektron yoğunluğu artar. Bu olaya tersine birikim adı verilir. Bu şekilde uyarılmış atoma iki enerji seviyesi arasındaki fark kadar enerjiye sahip fotonlar gönderilerek elektronlar temel hâle dönmeye zorlanır. Böylece Şekil 6.9: a'daki gibi atom, aynı enerjiye sahip iki foton yayınlar. Şekil 6.9: b ve Şekil 6.9: c'de görüldüğü gibi zincirleme reaksiyon oluşturulabilir ve sonucunda hemen hemen aynı frekanslı çok sayıda foton elde edilir. Işığın bu şekilde şiddetlendirilmesine **uyarılmış emisyon**, oluşan ışınlara da **LASER** adı verilmektedir.

Uyarılma seviyesindeki bu atom yoğunluğu uyarıcı fotonlarla bombardıman edilerek temel hâle dönmeye zorlanır.

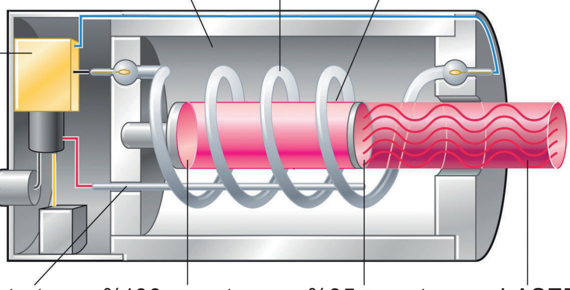


Şekil 6.9: *a, b, c) LASER ışığının uyarılmış emisyon yöntemiyle elde edilmesi*

Şematik gösterimi Şekil 6.10'daki gibi olan LASER cihazının içinde bulunan materyalin uyarılmasıyla oluşan fotonlar, cihaz içindeki aynalar sayesinde paralel hâle getirilerek sistem dışına gönderilir.

Simülasyon

LASER ışınlarının oluşumunu karekoddan yararlanarak inceleyiniz.



Şekil 6.10: *LASER cihazı*

Beyaz ışık, dalga boyları ve frekansları farklı fotonlardan meydana gelir. LASER ışığı ise yüksek genlikli, aynı fazda, birbirine paralel, tek renkli, hemen hemen aynı frekanslı fotonlardan oluşur.

Araştırınız

LASER ışınlarının enerjisini ve şiddetini artırmak için neler yapılabilir? Araştırma sonucunu arkadaşlarınızla paylaşınız..

LASER Işınlarının Özellikleri

1. Uyarılmış emisyon yoluyla elde edilir.
2. Dalga boyları aynı olan fotonlardan oluştukları için tek renklidir. Gözle görülebilir.
3. Dağılmadan yayılabilir.
4. LASER ışınları, tek bir noktaya odaklanarak bu noktalarda yüksek sıcaklık elde edilir. Bu özelliği ile delme, kesme ve buharlaştırma olaylarında kullanılır.
5. LASER ışınları yeryüzü ile Ay arasındaki mesafeyi çok hassas şekilde ölçme imkânı verir.
6. Bulut, sis ve yağmur gibi atmosfer olaylarından etkilenir.

Sıra Sizde - 18

LASER ışınlarının nasıl elde edildiğini açıklayınız.

Çözüm

6.5.2. LASER Işınlarının Teknolojideki Kullanım Alanları

LASER, günümüzde birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanları endüstri, tıp, bilimsel araştırmalar, mühendislik, meteoroloji, iletişim ve savunma alanlarıdır.



Görsel 6.39: *Epilasyon cihazı*



Görsel 6.40: *Barkod okuyucu*



Görsel 6.41: *CD-DVD okuyucu*

LASER cerrahi operasyonlar, katarakt tedavisi ve güzellik teknolojisinde (epilasyon) (Görsel 6.39), mesafe ölçme ve barkod okuyucularda (Görsel 6.40), optik algılayıcılarda, yazıcı ve okuyucu sistemlerinde (CD ve DVD okuyucu)(Görsel 6. 41), fiber optik haberleşme sistemlerinde, sert malzemelerin birleştirilmesinden kaynak ve hassas kesme ve delme işlemlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca ışık gösterilerinde ve hologram elde edilmesinde kullanılır (Görsel 6.42).

Araştırınız

Metin içerisinde verilen örnekler dışında LASER'den hangi alanlarda faydalanıldığını araştırınız.



Görsel 6.42: *15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nde LASER gösterisi*

Sıra Sizde - 19

Konu anlatımı sırasında verilen örneklerden başka, günlük hayatta LASER'in kullanımına üç tane örnek yazınız.

Çözüm

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.

nano	süper iletken	termal kamera
doğal nano	radyoaktif	diyot
ultrason	yarı iletken	PET
uyarılmış emisyon	röntgen	sıvı

1. X-ışınlarının kullanıldığı .... radyoaktif tanılama yöntemlerinin en eskisidir.

2. MR ağrısız ve X-ışını gibi zararlı olabilecek .... maddeler kullanılmayan bir tanılama tekniğidir.

3. Tıpta, tüm vücudun 3 boyutlu görüntüsünün alınabilmesi için kullanılan cihaza .... denir.

4. Bir malzemenin özellikleri .... boyutta değişir.

5. İletken bir maddenin elektrik direncinin kritik bir sıcaklık ve kritik bir manyetik alan altında tamamen ortadan kalkmasıyla oluşan maddelere .... denir.

6. Ultrasonik ses dalgalarının kullanıldığı ....cihazında hareketli bir organın görüntüsü anında görüntülenir.

7. Canlı ve cansız varlıkların yaydığı termal ışınlar, ... sayesinde görür.

8. Lotus çiçeği yaprağı, kertenkele ayağı ve morpho rhetenor kelebeği gibi canlılar .... yapıya sahiptir.

9. LCD teknolojilerin yapısında .... kristaller bulunur.

10. Elektrik iletkenliği bakımından iletken ile yalıtkan arasında kalan maddelere..................... madde denir

11. Akımın tek yönde akmasına izin veren yarı iletken devre elemanlarına .... denir.

12. LASER ışınları .... yoluyla elde edilir.

B) Aşağıdaki soruların cevaplarını boş bırakılan alana yazınız.

13. İncelenecek alana gönderilen ses dalgaları bölgeden yansıyarak transdüseri titreştirip dalgaları elektrik enerjisine dönüştürür. Bu ses dalgaları işlenerek görüntü elde edilir.

Çalışma prensibi yukarıda anlatılan görüntüleme cihazı hangisidir?

Cevap: ....

14. Yarı kararlı atomlar fotonlarla uyarıldığında uyarma düzeyindeki atom yoğunluğu temel hâldeki atom yoğunluğundan fazla olur.

Bu olaya ne ad verilir?

Cevap: ....

15. Ceylan, aydınlatma sistemlerinde kullanılan lambalar üzerine yaptığı araştırma ödevinde eski aydınlatma sistemlerine göre çok daha hesaplı, ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacak, uzun ömürlü, verimliliği yüksek ve yarı iletken teknolojisi kullanılarak üretilmiş lambalar olduğunu öğreniyor.

Ceylan'ın yaptığı araştırma ödevi sonucunda öğrendiği elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren yarı iletken devre elamanının adı nedir?

Cevap: ....

16. Atomların ve moleküllerin en küçük birimlerini ifade etmek ve maddeyi atomik boyutu ile kontrol etmek amacıyla kullanılan teknolojiye ne ad verilir?

Cevap: ....

C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

17. **Yarı iletken ile ilgili**

I. Bakır ve demir yarı iletkendir.

II. Çeşitli katkı maddeleriyle işlendiğinde N ve P tipi yarı iletken malzeme adını alır.

III. Elektronik aletlerin yapımında kullanılır.

ifadelerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II

D) II ve III E) I, II ve III

18. **Nanometre ölçeğinde malzemenin kullanıldığı yerlere**

I. Elektronik devreler

II. Tekstil malzemeleri

III. Savunma sanayi

örneklerinden hangileri verilebilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II

D) II ve III E) I, II ve III

19. **Yarı iletkenlerle ilgili**

I. Elektriksel özellikleri değiştirilebilir.

II. Geçici iletkenlik özelliği kazandırabilen maddelerdir.

III. Laboratuvar ortamında üretilebilirler.

verilenlerden hangileri yarı iletkenlerin genel özelliklerindendir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II

D) II ve III E) I, II ve III

20. **Tıpta kullanılan görüntüleme sistemlerinden biri olan röntgen cihazı ile ilgili**

I. X-ışınları kullanılır.

II. Röntgen ile kemik bölgeler kolayca görüntülenebilir.

III. Organların üç boyutlu görüntüleri elde edilir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III

D) II ve III E) I, II ve III

21. **Sonar cihazları**

I. Su derinliğinin ölçülmesi

II. Balık sürülerinin saptanması

III. Denizaltıların saptanması

işlemlerinin hangilerinde kullanılır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II

D) II ve III E) I, II ve III

22. **Aşağıdaki görüntüleme cihazlarından hangisi kızılötesi ışınımı tespit ederek görüntü hâline dönüştürür?**

A) Termal kamera

B) Radar

C) Ultrason cihazı

D) Sonar cihazı

E) Röntgen

23. **LASER ışınlarıyla ilgili**

I. Uyarılmış emisyon yoluyla oluşturulur.

II. Atmosfer olaylarından etkilenmez.

III. Tek renkli ışınlardır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III

D) II ve III E) I, II ve III

24. **Yarı iletken maddeden yapılmış transistörler için**

I. Elektronik devrelerde kullanımları geniştir.

II. Elektronik malzemelerin küçülmelerini sağlamıştır.

III. Üretimleri kolaydır.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II

D) II ve III E) I, II ve III

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

25. **LASER ışınıyla ilgili aşağıdaki bilgilerden hangisi yanlıştır?**

A) Tek renklidir.

B) Uyarılmış emisyon yoluyla elde edilir.

C) Kendiliğinden ışımayla elde edilir.

D) Çok uzaklara dağılmadan ulaşabilir.

E) Verimleri düşüktür.

26. **Özellikle onkoloji hastalarının üç boyutlu görüntüsünün elde edilmesini sağlayan cihaz aşağıdakilerden hangisidir?**

A) MR B) BT C) Röntgen D) PET E) Ultrason

27. **Görüntüleme cihazlarından biri olan termal kameralar ile ilgili**

I. Kızılötesi ışınımı tespit eder.

II. Ses dalgalarıyla görüntü elde edilir.

III. Karanlık ortamda görüntüleme sağlanamaz.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

28. X-ışınları bir tüpten çıkarak vücuda gönderilir. Her bölgenin yoğunluğu farklı olduğundan X-ışınları farklı dokularda farklı oranlarda geçer. Atom numarası büyük olan atomlar daha yoğun olduğundan bu atomların bulunduğu bölgelerde X-ışınlarının geçiş oranı daha düşüktür. X-ışınlarında meydana gelen zayıflama, dokunun çevresindeki dedektörler tarafından algılanıp görüntüye dönüştürülür.

Çalışma prensibi verilen görüntüleme cihazı aşağıdakilerden hangisidir?

A) MR B) BT C) PET D) Ultrason E) Termal kamera

D) Aşağıdaki açık uçlu soruların cevabını boş bırakılan alana yazınız.

29. **Nano teknolojinin insan yaşamına sağladığı kolaylıklara örnek veriniz.**

Çözüm

30. **Yapılarında bulunan yarı iletkenler aracılığıyla yüzeylerine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren haberleşme, hava gözlem istasyonları, deniz fenerleri gibi birçok alanda kullanılan pillere ne ad verilir?**

Çözüm

31. **Süper iletken maddelerin teknolojideki kullanımlarına dair üç örnek yazınız.**

Çözüm

32. **Röntgen cihazının çalışma prensibini kısaca açıklayınız.**

Çözüm

33. **Günlük hayatta güneş pillerinin kullanıldığı alanlara beş tane örnek veriniz.**

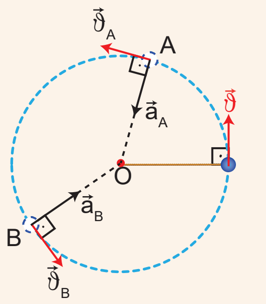
Çözüm

CEVAP ANAHTARI

1. ÜNİTE: ÇEMBERSEL HAREKET

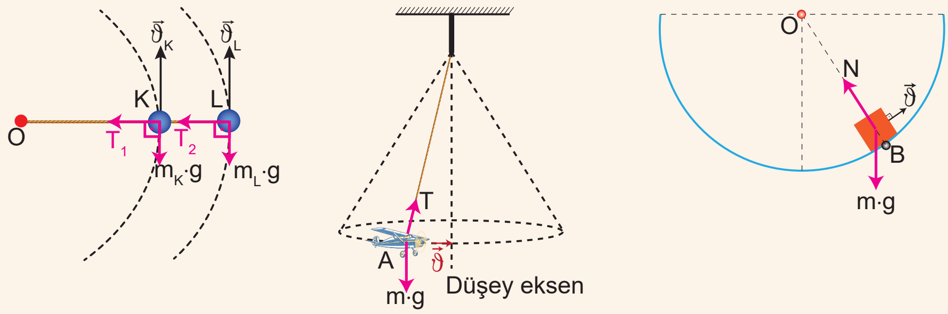
Sıra Sizde

1. 2 **2.** a)



b) 0,3 m/s^2

3.

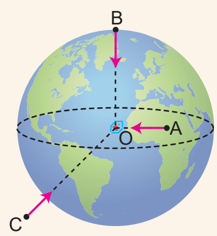


4. Virajın yarıçapı artırılmalı, tekerlek ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı artırılmalı, yer çekimi ivmesi artırılmalı **5.** $\frac{m}{s}$ **6.** Öteleme hareketi yapanlar: Görsel **1.**11-14, Dönme hareketi yapanlar: Görsel **1.**12-16, Dönerek öteleme hareketi yapanlar: Görsel **1.**13-15

7. Kütle merkezinin dönme noktasına uzaklığı arttığından eylemsizlik momenti artar. **8.** $E_M > E_L > E_K$

9. I ve III **10.** I, II ve III **11.** $L = m \cdot \vartheta \cdot r$, **12.** $\tau = I \cdot \alpha$ **13.** Dönen bir cismi, eksenindeki bir mile sabitlediğinizde dengesini bozmadan dönmeye devam eder. Bu etkiye jiroskop etkisi denir. Topaçların dönerken dengede kalması da bu nedenledir. Bisiklet tekerleği döndükçe dengenin korunması kolaylaşır.

14. Dünya yüzeyindeki cisme etki eden kütle çekim kuvveti cismin ağırlığına eşittir. Bu durumda $m \cdot g = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}$ olur. Bu nedenle $g = \frac{G \cdot M}{r^2}$ ifadesi elde edilir. **15.**



16. I-Kurtulma enerjisi II-Bağlanma enerjisi III- Kütle çekim kuvveti

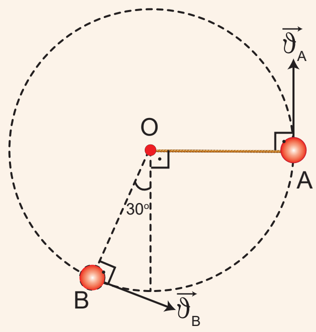
Ölçme ve Değerlendirme

A) **1.** Periyot **2.** Frekans **3.** Merkezine **4.** Düzgün çembersel **5.** Eylemsizlik momenti **6.** Açısal momentum **7.** Dönme **8.** Kütlesine **9.** Alanlar **10.** Yarıçap **11.** Açısal hız **12.** Geometrik şekline

B) **13.** Periyot **14.** Yatay atış hareketi **15.** Açısal ivme **16.** Öteleme hareketi **17.** Ali Kuşçu

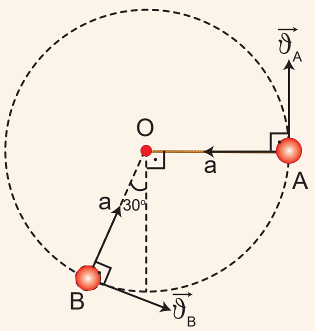
C) **18.** E **19.** B **20.** C **21.** C **22.** C **23.** D **24.** D **25.** E **26.** C **27.** A **28.** D **29.** C **30.** A **31.** E **32.** A **33.** B **34.** C

D) 35. a) $\frac{1}{30}$ b) 0,4 m c) $\frac{3}{2}$ d) 3,2 N **36.** a)



b) $\frac{1}{3}s^{-1}$ c) 2 m/s

d)



$a = \frac{\vartheta^2}{r} = \frac{2^2}{1} = 4 \text{ m/s}^2$

37. h yüksekliği ve yer çekim ivmesini artırmak **38.** II ve III **39.** a) 2 b) 3g **40.** 5 m·g **41.** K ya etki eden 8 N, L ye etki eden 6 N **42.** 90 cm **43.** 9100 N **44.** $5\sqrt{3}$ m/s **45.** I, II ve III **46.** Yer çekimi ivmesinin değişmesi **47.** $\vartheta_M > \vartheta_L > \vartheta_K$ **48.** 2 **49.** Havadaki ayağını diğer ayağına yaklaştırdığında eylemsizlik momenti azalır, açısal momentum korunacağında dönme hızı artar. **50.** $g_L > g_K > g_M$

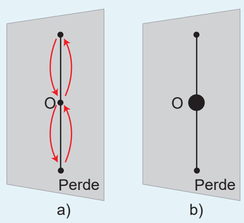
2. ÜNİTE: BASİT HARMONİK HAREKET)

Sıra Sizde

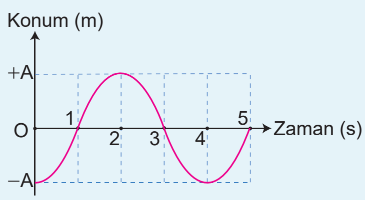
1. a) M noktası b) 40 cm c) → $\vec{x}$ = 20 cm ç) T = 12 s f = $\frac{1}{12}s^{-1}$ d) → $\vec{F}$

2. a) M noktası b) 20 cm c) T = 24 s f = $\frac{1}{24}s^{-1}$ ç) 10 cm

3.



4.



5. 10 $\frac{rad}{s}$ **6.** $\frac{1}{4}$ **7.** $\frac{3}{5}$ **8.** 4 **9.** 1 **10.** $T_1 = T_2 = T_3$

11. Yalnız I

Ölçme ve Değerlendirme

A) 1. Periyot **2.** Hızı **3.** Kısaltılırsa **4.** Kütlesine **5.** Basit harmonik hareket **6.** Geri çağırıcı **7.** Denge **8.** Yer çekimi ivmesi **9.** İz düşüm **10.** Değişmez **11.** En büyük **12.** İvme

B) 13. Frekans **14.** Uzanım **15.** Genlik **16.** Periyot **17.** Kütle

C) 18. E **19.** C **20.** B **21.** D **22.** E **23.** D **24.** E **25.** A **26.** B **27.** C **28.** A **29.** A **30.** D **31.** A **32.** B **33.** B **34.** C **35.** C

D) 36. $\frac{9}{8}$ m/s **37.** 2 saniye **38.** a) 90 N b) 3 m/s **39.** ← $\vec{x}$, → $\vec{F}$, → $\vec{a}$ **40.** I ve II **41.** 3 saniye

3. ÜNİTE (DALGA MEKANİĞİ)

Sıra Sizde

1. II ve III **2.** Yalnız III **3.** C ve D **4.** I ve III **5.** Yalnız I **6.** Mavi, yeşil ve cyan **7.** Yalnız I **8.** Işığın kırınıma uğradıktan sonra girişim olayını gerçekleştirmesinden kaynaklanır. Bu da ışığın dalga doğasına sahip olduğunun kanıtıdır. **9.** Gözlemcinin duyduğu sesin frekansı kaynağın frekansına göre büyür. Bu nedenle sesi daha ince algılar. **10.** 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10 **11.** E

Ölçme ve Değerlendirme

A) **1.** Yüklü parçacıkların **2.** Kırınım **3.** Manyetik alan **4.** Dalga katarı **5.** Merkezî aydınlık **6.** Girişim **7.** Elektromanyetik dalga spektrumu **8.** Maxwell **9.** Dalga **10.** Düğüm noktası **11.** Radyo **12.** Doppler

B) **13.** Kırınım **14.** Dalga boyu **15.** Azalır **16.** Daha büyük algılar. **17.** X-ışınları

C) **18.** E **19.** B **20.** D **21.** C **22.** C **23.** A **24.** E **25.** C **26.** A **27.** B **28.** E **29.** A **30.** D **31.** A **32.** C **33.** D **34.** B **35.**D **36.** E **37.** B

D) **38.** Merkezî aydınlık saçağın genişliği artar. Aydınlık saçakların yerini karanlık, karanlık saçakların yerini aydınlık saçak alır. Merkezi aydınlık saçağın yeri değişmez **39.** III ve IV **40.** $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ **41.** I) Saçak parlaklıkları artar. II) Saçak genişlikleri azalır. Bu nedenle ekran üzerindeki saçak sayısı artar. **42.** II ve III **43.** I, II ve III **44.** Yalnız II

4. ÜNİTE: ATOM FİZİĞİNE GİRİŞ VE RADYOAKTİVİTE

Sıra Sizde

1. I ve II **2.** I ve III **3.** 0,28 eV, 1,16 eV, 3,33 eV, 5,14 eV ve 10 eV **4.** Atomu uyarabilecek fotonların enerjileri enerji seviyelerinden birine eşit olması gerekirken atomu uyaran elektronun enerjisinin seviyelerden birine eşit olması şart değildir. Elektronun enerjisi birinci uyarılma seviyesinin enerjisine eşit veya büyük olması yeterlidir. **5.** I ve II **6.** Atomlar ısıtılarak veya birbiriyle çarpıştırılarak enerji aktarılıp atomların uyarılmaları sağlanabilir. Atomların elektronla uyarılabilmesi için gönderilen elektronun kinetik enerjisinin atomun birinci uyarılma seviyesine eşit veya büyük olması gerekirken foton ile uyarılabilmesi için fotonun enerjisinin uyarılma seviyelerinden birine eşit olması gerekir. **7.** I ve II **8.** 10 **9.** I, II ve III **10.** I, II ve III **11.** I ve III **12.** I, II ve III

13. Çekirdek, atom, molekül **14.** Kararsız atomları kararlı hâle getirebilmek için kendiliğinden ışıma yaparlar. Yapılan ışımalar fotoğraf filmini etkiler. **15.** X α parçacığı, Y β^- parçacığı **16.** I, II ve III **17.** I ve II **18.** Kısa sürede alınan aşırı seviyedeki radyasyon iç organlara ve dokulara yüksek oranda zarar verir. Hayati sistemler fonksiyonunu kaybeder. Çok sayıda hücrenin ölümü gerçekleşir. Bu da hayati fonksiyonların yerine getirilmesini engeller. Bulantı, kusma, deri ve derin doku yanıkları, bağışıklık sisteminin zayıflaması gibi etkiler saatler, günler veya haftalar içinde ortaya çıkabilir. **19.** Yalnız II

Ölçme ve Değerlendirme

A) **1.** Temel hâlde **2.** Foton **3.** Kuantum mekaniği **4.** Baryonlar **5.** Büyük patlama **6.** Hadronlar **7.** Zayıf **8.** Işık **9.** Kuark **10.** Füzyon **11.** Fisyon **12.** Radyoaktif çekirdek

B) **13.** Dalga **14.** Kararlı çekirdek **15.** Planck dönemi **16.** Maddelerin bölünemez en küçük yapıtaşı atomdur. Atom, küresel yapıya sahiptir. Aynı maddelerin atomları özdeş iken farklı maddelerin atomları da biribirinden farklıdır. **17.** Standart model

C) **18.** A **19.** E **20.** C **21.** A **22.** B **23.** C **24.** A **25.** A **26.** D **27.** E **28.** E **29.** E **30.** B **31.** D **32.** B **33.** B **34.** C **35.** D

D) **36.** Elektronlar çekirdeğin etrafında ışıma yapmadan dolanabilecekleri kararlı (seçkin) yörüngelerde bulunur. **37.** 1 eV, 3 eV, 4 eV, 5 eV, 8 eV, 9 eV **38.** Abdus Salam, Shelden Glashow ve Steven Weinberg **39.** 4 tane **40.** Elektronların çekirdek etrafında bulunma ihtimalinin yüksek olduğu yerlerden bahsedilmiş. Bu bölgelere orbital adı verilmiştir. **41.** Atomun küresel yapıya sahip olması ve nötral yapıda bulunması.

5. ÜNİTE: MODERN FİZİK

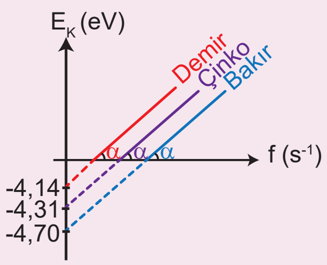
Sıra Sizde

1. I ve III **2.** Işık hızının Dünya'nın hareketinden etkilenmemesi özel görelilik teorisinin postülalarından biri olmuştur. **3.** a) $L_X > L_Z > L_Y$ b) Cisimler ışık hızına yaklaştıkça hareket doğrultusundaki boyları kısalır. **4.** 1-b, 2-c, 3a **5.** Işık hızına yakın hızlarda hareket eden sistemlerde zaman genişlemesi olur ve saat yavaşlar.

6. Fotonlar sahip olduğu enerjiden dolayı belli bir kütleye sahiptir. Bu nedenle foton yayınlandıkça çekirdek kütlesi azalır. **7.** Mutlak sıcaklığın üzerindeki tüm cisimler ışıma yapar. Işığı soğuran cisimlerin sıcaklığı artar. Bu durum cismin ışıma yapmasına neden olur. **8.** D **9.** I, II ve III

10. Çinko levha üzerine düşürülen ışığın levhadan elektron koparması sonucu negatif yük miktarı azaldığından elektroskobun yaprakları kapanmaya başlar. **11.** 3100 Å

12. a)



b) Gelen fotonların frekansı demir ve çinkonun eşik frekansından büyük olduğundan fotoelektrik olayını gerçekleştirir. **13.** 3 eV **14.** a) 10 eV b) 4eV c) 6 eV ç) 6 V **15.** $16 \cdot 10^{-19}$ J **16.** 2200 Å **17.** I ve II **18.** Yalnız II **19.** II ve IIII **20.** Her iki olayda da ışık tanecik şeklinde hareket ettiği için ışığın tanecik doğasını destekler. **21.** Yalnız IV **22.** De Broglie dalga boyu bağıntısından m kütleli cisimlerin de λ dalga boylu, dalga hareketi yapabileceği anlaşılmaktadır.

Ölçme ve Değerlendirme

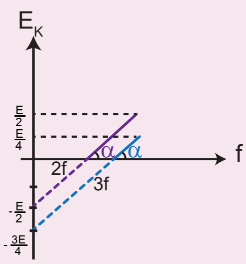
A) **1.** Enerji paketi **2.** Foton **3.** Momentum **4.** Işık şiddeti **5.** Tanecik **6.** Eşik enerjisi **7.** Elektronların **8.** Dalga **9.** Ether **10.** Gözlemci **11.** Has uzunluk **12.** Siyah

B) **13.** Fotosel **14.** Momentum **15.** Dalga boyu **16.** Dalga doğası **17.** Sabırlı olmak

C) **18.** A **19.** E **20.** B **21.** C **22.** D **23.** E **24.** A **25.** C **26.** D **27.** B **28.** E **29.** A **30.** E **31.** C **32.** D **33.** D **34.** B **35.** A **36.** E **37.** C **38.** B

D) **39.** Gölge oluşması, kırılma ve yansıma **40.** Etherin varlığına dair kanıt bulunamadığı için ışığın boşlukta da yayılabildiğini ortaya koymuştur. **41.** I ve III **42.** Öğrenci yorumuna bağlıdır. **43.** Öğrenci yorumuna bağlıdır. **44.** Kuantum fiziğinin doğuşuna neden olmuştur. **45.** Öğrenci yorumuna bağlıdır. **46.** Klasik yaklaşıma göre cismin yapacağı ışıma şiddeti frekansa bağlı olarak sürekli artış göstermelidir. Modern fizikte ışımanın enerjisi kesiklidir. **47.** I ve II **48.** I, II ve III

49.



50. $1,2 \cdot 10^{15}$ s^{-1} **51.** I ve III

6. ÜNİTE (MODERN FİZİĞİN TEKNOLOJİDEKİ UYGULAMALARI)

Sıra Sizde

1. X-ışınları; Röntgen-PET-BT, Radyo dalgaları; MR, Ses dalgaları; Ultrason-Sonar, Mikrodalga; Radar, Termal kamera; Kızılötesi

2. I ve II **3.** I, II ve IIII **4.** Fizik bilimindeki gelişmeler LCD ve plazma teknolojisindeki gelişmelere öncülük etmiştir. Daha parlak, daha net ve çözünürlüğü yüksek görüntü elde edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca CRT tüplerindeki ısınma süresi giderilerek görüntüye kısa sürede ulaşılması sağlanmıştır.

5. I, II ve III **6.** I, II ve III **7.** Yarı iletken malzemelerin elektronik devre elemanlarında kullanılmasıyla hem cihazların boyutları küçülmüş hem de özellikleri artırılarak günlük hayatta kullanımları artmıştır. **8.** I, II ve III

9. Bilişim teknolojilerinde kullanılan aletlerin özelliklerinin artırılmasının yanında boyutlarının küçülmesi ve enerji tüketiminin azaltılması sağlanmıştır. **10.** LED'ler aydınlatma, reklam panoları, hesap makineleri, bilgisayar, televizyon ve cep telefonu ekranları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle aydınlatmada kullanım alanı artıkça enerji tasarrufu sağlayarak ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır.

11. Güneş pilleri yapısında bulunan yarı iletkenler sayesinden Güneş'ten gelen fotonlardan soğrulan enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.

12. a) 36 TL b) %48 **13.** Süper iletkenler kritik sıcaklıkta sıfır direnç göstermelerinin yanı sıra yakınlarında bulunan herhangi bir manyetik alanı dışarılamaları da ayırt edici özelliklerindendir.

14. Öğrenci yorumuna bağlıdır. **15.** Boyutları 1-100 nm arasındaki yapıların fiziksel özelliklerinde farklılıklar görülür. Bu farklı özellikleri açıklayan bilim dalı nanobilim, elde edilen sonuçları ise hayata aktaran nanoteknolojidir. **16.** Grafen, fulleren ve karbon gibi maddeler nanoteknolojide sıkça kullanılır. Grafen saydam ve esnek olduğundan katlanabilir ekran teknolojisinde kullanılır. **17.** Öğrenci yorumuna bağlıdır.

18. Bazı atomlarda uyarılma sonucu üst enerji seviyesine çıkan elektronlar tersine birikim oluşturur. Gönderilen fotonlarla temel hâle inmeye zorlanan elektronlar temel hâle dönerken yayınladıkları fotonlar ile gelen fotonlar güçlü bir tek renkli ışık demeti oluşturur. **19.** Öğrenci yorumuna bağlıdır.

Ölçme ve Değerlendirme

A) **1.** Röntgen **2.** Radyoaktif **3.** PET **4.** Nano **5.** Süper iletken **6.** Ultrason **7.** Termal kamera **8.** Doğal nano **9.** Sıvı **10.** Yarı iletken **11.** Diyot **12.** Uyarılmış emisyon

B) **13.** Ultrason **14.** Tersine birikim **15.** LED **16.** Nanoteknoloji

C) **17.** D **18.** E **19.** E **20.** B **21.** E **22.** A **23.** C **24.** E **25.** C **26.** D **27.** A **28.** B

D) **29.** Öğrenci yorumuna bağlıdır. **30.** Güneş pilleri **31.** Maglev trenler, parçacık hızlandırıcılar, MR cihazları gibi. **32.** Vücuda gönderilen X-ışınları vücudun farklı bölgeleri tarafından farklı miktarlarda soğrulur. Bu durumda vücuttan geçen X-ışınları düştükleri film üzerinde farklı tonlarda görüntü oluşturur. **33.** Kol saatleri, hesap makineleri, ışıklı trafik tabelaları, sokak lambaları, yapay uydularda vb.

SÖZLÜK

A

akkor : Işık saçacak beyazlığa varıncaya kadar ısıtılmış olan.

antimadde : Kendi maddesiyle birleştiğinde yok olup enerji açığa çıkmasına neden olan madde.

ardışık : Birbiri ardından gelen, Mütevali, müteakip.

atom altı : Atomu oluşturan her temel tanecik için kullanılan terim.

B

baz istasyonu : Cep telefonu haberleşmesi için elektromanyetik sinyalleri yayınlayan veya alan bir anten ile bir radyo vericisi.

bobin : İçinden elektrik akımı geçebilen yalıtılmış tel ile bu telin sarılı bulunduğu silindirden oluşan sistem.

broşür : Genellikle bir şeyi tanıtmayı amaçlayan sayfa sayısı az, küçük kitap; kitapçık.

bulgu : Araştırma verilerinin çözümlenmesinden sonra elde edilen bilimsel sonuç.

C

cerrahi operasyon : Hasta üzerinde tedavi amacıyla uygulanan kesme ve dikme işlemi, ameliyat.

coulomb kuvveti : Aynı yüklü tanecikler arasındaki itme, zıt yüklü tanecikler arasındaki çekme kuvveti.

Ç

çembersel : Çembere benzeyen çemberle ilgili.

çıkarım : Mantıksal olarak bir olgu veya olayın başka bir olgu ya da olaya neden olması veya yol açması, içerim.

D

dalga leğeni : Dalgaların özelliklerini incelemek için hazırlanmış düzenek.

dedektör : Gaz, mayın, radyoaktif mineral, manyetik dalga vb.ni bulmaya yarayan cihaz, bulucu.

deforme olmak : Biçimi, kalıbı bozulmak.

delil : İnsanı aradığı gerçeğe ulaştırabilecek iz, kanıt.

dezenfeksiyon : Patojen mikroorganizmaların fiziksel veya kimyasal yollarla yok edilmesi, mikropların öldürülmesi, mikropsuz duruma getirme ve virüslerin inaktivasyonu.

disk : İnce ve çapı oldukça büyük tekerlek şeklinde parça.

diyagram : 1. Belirli bir ölçeğe göre bir çokluğu göstermek için çizilmiş şekil. 2. Bir sistemin yapısını ya da işlemlerin akışını gösterir şema.

dolanım : Kapalı bir yörünge üzerindeki hareket.

E

eğimli viraj : Eğimi sıfırdan büyük olan yollardaki viraj.

eğri : Düz olmayan, bir noktasında yön değiştiren.

elektrik alanı : Bir elektrik yükü çevresinde elektriksel kuvvetlerin etki gösterdiği bölge.

Erasmus programı : Yükseköğretim kurumlarının birbiri ile işbirliği yapmalarını teşvik etmeye yönelik bir Avrupa Birliği programı.

eş merkezli : Merkezleri aynı olan iki veya daha çok şekil.

eş zamanlı : Başlamalarıyla bitmeleri arasında geçen zaman eşit olan (olaylar), senkronik.

evren : Bütün gök cisimlerinin içinde yer aldığı düşünülen sonsuz varlık.

F

faktör : Biyolojik, iklimsel, besinsel vb. olabilen ve bir etki yapan herhangi bir ajan. Bir biyokimyasal olayda görev yapan henüz tamamıyla tanımlanmamış bir madde ya da etken.

flaman : Lambalardan akım geçtiğinde, akkor duruma gelen ince iletken tel.

G

galaksi : Milyarlarca yıldızdan, yıldız kümelerinden, bulutsu ve gaz bulutlarından oluşmuş, samanyolu gibi bağımsız uzay adası, gök ada.

görüntüleme : Bulgu, delilin fotoğraf ya da hareketli görüntü çekme suretiyle kayıt altına alınması.

H

hız limiti : Bir hareketlinin hareket edebileceği ya da hareket etmesi gereken en büyük hız değeri.

I

ışın : Bir ışık kaynağından çıkarak her yöne yayılıp giden ışık demeti, şua.

ışınım gücü : Parçacıklar ya da elektromanyetik dalgalar biçiminde erke yayımı ya da taşınması, ışınım.

İ

ihtiva : İçine alma, içinde bulundurma, içerme.

K

karekod : Orijinal adı datamatrix olan 2 boyutlu barkod tipli barkodlara verilen Türkçe isim.

kor : İyice yanarak ateş durumuna gelmiş madde.

kozmik : Evrenle ve onun genel düzeniyle ilgili.

kuvars : Hızlı sıcaklık değişmelerine ve asit etkisine dayanıklı deneylik aygıtların yapımında kullanılan renksiz ya da ak, doğal silis örütü.

L

likit kristal : Atomlarının yerleşiminin geometrik bir düzenlenimi olan sıvı.

M

manyetik : Mıknatısla ilgili, kendinde mıknatıs özellikleri bulunan.

mekanizma : Belli bir sonuca ulaşmak için karmaşık bir biçimde düzenlenmiş organ veya parçalar birleşimi, sistem, düzenek.

mutlak uzay : Bir olayın “nerede” olduğunun belirlendiği ve bütün hareketlerin içinde oluştuğu uzay.

mutlak zaman : Uzaydan bağımsız olayın oluştuğu zaman.

N

nanopartikül : Doğal ya da sentetik, şekilsiz ve yarı kristal yapıda bulunabilen ve 1 ile 100 nm boyutları arasında ki yapılar.

nanotüp : Kristal grafitlerden oluşan hegzagonal örgüdeki karbon atomlarının oluşturduğu silindirik yapılar.

nükleon : Atom çekirdeğini oluşturan proton ile nötronun ortak adı.

O

olasılık : O zamana kadar yapılan deneylerle bir olayın ortaya çıkmasının beklenilmesi ancak yine de tam bir kesinliğin bulunmaması durumu.

Ö

öteleme : Bir cismin bütün noktalarının eşit, paralel ve yöndeş yollar çizmesiyle beliren hareketi, intikal.

P

paralel ışık demeti : Işık ışınlarının birbirine paralel hareket etme durumu.

parçacık : Elektron, proton, nötron gibi atomu oluşturan parçaların her biri, partikül.

piksel : Görüntüyü oluşturan en küçük birim.

polarizasyon : İki kutupta toplanmak.

postüla : İspat edilmeye gerek duyulmadan doğru olarak benimsenen önermeye verilen ad.

R

rüzgâr türbini : Rüzgârın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistem.

S

sensör : Önceden belirlenmiş ışığı veya nesneyi algılayıp gerekli hareketi başlatan aygıt.

SI : Uluslararası Birim Sistemi.

simetri : Bir cismin veya şeklin iki tarafının bir eksene göre birbirinin aynı olması.

simülasyon : Bir sistem, süreç ya da durumun taklit edilmesi. Gerçek bir sistemin modelinin inşa edilmesi vasıtası ile sistemin çalışma ve davranış prensiplerinin anlaşılması, sistemin kullanılacağı taktik ve stratejilerin araştırılması, bu kapsamda gerekli deneylerin yapılması süreci. Benzetim.

siren : İtfaiye, cankurtaran ve polis araçlarında bulunan tiz ses çıkaran uyarıcı alet.

sunum : Bir bildirinin çeşitli yollarla dinleyenlere aktarılması.

T

tanı : Hastalığın ne olduğunu araştırıp ortaya koyma, teşhis.

teorik : Kurama dayanan, kuramsal.

termal : Isı ile ilgili.

topaç : Çevresine ip sarılıp birden bırakılarak veya kamçı ile vurularak döndürülen koni biçiminde ucu sivri oyuncak.

transdüser : Algıladığı bilgiyi elektrik enerjisine çeviren eleman.

V

valf : Boru içindeki bir akışkanın akışını durdurmaya veya serbest bırakmaya yarayan alet, vana.

Y

yaklaşım : Bir sorunu ele alış, ona bakış biçimi.

yayma : Işık kaynağı, ışığı kendinden dışarıya doğru çeşitli yönlere göndermek.

yumuşak doku : Yumuşak ve süngerimsi doku.

DİZİN

KAYNAKÇA

Kuhn, K. F. (2016). *Temel Fizik Herkes için Fizik* (İkinci Basımdan Çeviri b.). Ankara: Nobel Yayıncılık.

Mazur, E. (2016). *Fizik İlkeler ve Pratikler* (1. Basımdan Çeviri b., Cilt 2). Ankara,: Nobel Yayıncılık.

Raymond A. Serway, R. J. (2011). *Fen ve Mühendislik için Fizik*, *Elektrik ve Manyetizma-Işık ve Optik* (Beşinci Baskıdan Çeviri b., Cilt 2). Ankara: Palme Yayıncılık.

Raymond A. Serway, R. J. (2016). *Fen ve Mühendislik için Fizik, Mekanik-Mekanik Dalgalar-Termodinamik* (Beşinci Baskıdan Çeviri b., Cilt 1). Ankara: Palme Yayıncılık.

Raymond A. Serway, R. J. (2016). *Fen ve Mühendislik için Fizik, Modern Fizik* (Beşinci Baskıdan Çeviri b., Cilt 3). Ankara: Palme Yayıncılık.

Raymond Chong, K. A. (2016). *Genel Kimya Temel Kavramlar.* Ankara: Palme Yayıncılık.

Walker, J. (2017). *Fiziğin Temelleri 1. Kitap*, Dokuzuncu Baskıdan Çeviri (H. M. B. G. Akınoğlu, Çev.). içinde Ankara: Palma Yayıncılık.

Walker, J. (2017). *Fiziğin Temelleri 2. Kitap*, Dokuzuncu Baskıdan Çeviri (H. M. B. G. Akınoğlu, Çev.). içinde Ankara: Palme Yayıncılık.

Walker, J. (2017). *Fiziğin Temelleri 3. Kitap*, Dokuzuncu Baskıdan Çeviri (H. M. B. G. Akınoğlu, Çev.). içinde Ankara: Palme Yayıncılık.

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Ortaöğretim Fizik Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programları

Türk Dil Kurumu (2011), *Türkçe Sözlük*, Ankara.

Türk Dil Kurumu (2012), *Yazım Kılavuzu,* Ankara

Not: *Kaynakça APA 6'ya göre düzenlenmiştir.*

GENEL AĞ ADRESLERİ

- açıkders.ankara.edu.tr/Pluginfile.php/278/mod_resource/content/2/dönü%20hareketi.pdf **Erişim Tarihi:** 01.09.2017 15.20
- http://yunus.hacettepe.edu.tr/~polat/FIZ217-DERS-NOTLARI.pdf **Erişim Tarihi:** 07.09.2017 20.40
- http://yunus.hacettepe.edu.tr/~polat/FIZIK-I-DERS-NOTLARI.pdf **Erişim Tarihi:** 07.09.2017 20.45
- http://yunus.hacettepe.edu.tr/~tatar/fiz217/2014/HC/BOLUM-1.pdf **Erişim Tarihi:** 07.09.2017 20.55
- https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/BMT-211-ders-notu-X-Isinlari.pdf **Erişim Tarihi:** 25.09.2017 12.22
- www.obi.bilkent.edu.tr/ekookul/pdf/nukleerenerji.pdf **Erişim Tarihi:** 13/01.2018 22.36
- İmg.eba.gov.tr/439/5dc/423/40c/ae4/b45/870/cdb/78c/1e2/968/2bb/1be/025/4395dc5F2242340ca-e4645870cdb78c1c29682bb1be025.pdf **Erişim Tarihi:** 18.10.2017 20.40
- http://cag.edu.tr/uploads/site/users-special/01386bd6d8e091c2ab4c7c7de644d37b/files/Evrenin%20Ger%C3%A7ekleri%20-%20Fikri%20Akdeniz.pdf **Erişim Tarihi:** 18.10.2017 20.40
- http://www.eba.gov.tr/video/izle/025877ae2479e5656411f87193f530cf2d63c81ed6007 **Erişim Tarihi:** 13.01.2018 20.36
- http://www.eba.gov.tr/ekitap?icerik-id=4728 **Erişim Tarihi:** 18.10.2017 20.30
- http://taner.balikesir.edu.tr/dersler/genel_kimya/atomik_yapi/siyah_cisim_isimasi_ve_planck_kurami/planck_kuantum_kurami.html **Erişim Tarihi:** 13.01.2018 18.36
- http://www.gtu.edu.tr/Files/UserFiles/90/MF1-KARA_CSM_IIMASI.pdf **Erişim Tarihi:** 13.01.2018 18.45
- http://www.wou.edu/~rmiller09/superconductivity/ **Erişim Tarihi:** 07.01.2018 18.45

- http://ercantuncel.home.uludag.edu.tr/wordpress/ders-notlari/ **Erişim Tarihi:** 07.01.2018 18.45
- http://vetrad.veterinary.ankara.edu.tr/ **Erişim Tarihi:** 07.01.2018 18.45
- http://www.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/054003/monitörler.pdf **Erişim Tarihi:** 07.01.2018 18.12
- Web.Firat.edu.tr/Feeb/kitap/C12/109.pdf **Erişim Tarihi:** 07.01.2018 18.25
- http://radyoloji.omu.edu.tr/hastalar-icin/radyolojik-goruntuleme-islemleri/bilgisayarli-tomografi-bt/ **Erişim Tarihi:** 05.01.2018 18.36
- http://ercantuncel.home.uludag.edu.tr/06_DERSNOTU/BOLUM_A.pdf **Erişim Tarihi:** 04.01.2018 21.44
- http://yucelkocyigit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf **Erişim Tarihi:** 04.01.2018 22.22
- http://web.firat.edu.tr/feeb/kitap/C12/150.pdf **Erişim Tarihi:** 05.01.2018 23.58
- http://www.academia.edu/11167202/Transistör **Erişim Tarihi:** 06.01.2018 20.48
- http://uzak2.mersin.edu.tr/akademik50/OrnekDers/analogelektronik/ders/LRN/13523.htm **Erişim Tarihi:** 06.01.2018 21.56
- https://www.ozyegin.edu.tr/tr/duyurular/50014734 **Erişim Tarihi:** 06.01.2018 19.05
- http://ee.istanbul.edu.tr/uploads/duyurular/6198_Gunes_Sunum.pdf **Erişim Tarihi:** 09.01.2018 19.18
- http://muhendis.kafkas.edu.tr/doc/personel-dosyalari/gunes-ruzgar-kombine-2933.pdf **Erişim Tarihi:** 11.01.2018 20.18
- http://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik_spektrum.pdf **Erişim Tarihi:** 09.11.2017 21.13
- https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/BMT-211-ders-notu-X-Isinlari.pdf **Erişim Tarihi:** 09.11.2017 19.13
- http://www.gtu.edu.tr/Files/UserFiles/90/MF1-KARA_CSM_IIMASI.pdf **Erişim Tarihi:** 04.01.2018 22.22
- http://aves.istanbul.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=1&USER=40350
- http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/posterler/albert_einstein.pdf **Erişim Tarihi:** 06.01.2018 22.05
- http://radyoloji.med.ege.edu.tr/radyoskopi.html **Erişim Tarihi:** 06.01.2018 20.05
- https://staff.emu.edu.tr/alperdoganalp/Documents/courses/bmet253/Ders%205%20%28%20MRI%29.ppt **Erişim Tarihi:** 06.01.2018 20.15
- http://library.cu.edu.tr/tezler/6780.pdf **Erişim Tarihi:** 07.01.2018 19.05
- http://muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wp-content/uploads/2013/09/bm05.pptx **Erişim Tarihi:** 07.01.2018 19.45
- http://www.baskent-adn.edu.tr/dokumanlar/bt_cihazi.pdf **Erişim Tarihi:** 08.01.2018 21.05
- http://ehm.kocaeli.edu.tr/duyuru/dosyalar/1116/Ders_radar.pdf **Erişim Tarihi:** 08.01.2018 22.18
- http://www.yildiz.edu.tr/~oscg/AlanegitimindeBitirmeProjeleri/SUPERILETKENLIK.pdf **Erişim Tarihi:** 09.01.2018 22.05
- http://www.katihal.sakarya.edu.tr/kutuphane/Superiletken.htm **Erişim Tarihi:** 08.01.2018 23.05
- http://nano.aku.edu.tr/genel-bilgiler/ **Erişim Tarihi:** 09.01.2018 21.05
- http://fenbilimlerienstitusu.medeniyet.edu.tr/tr/programlar/tezli-yuksek-lisans/nanobilim-ve-nanomuhendislik-tezli **Erişim Tarihi:** 09.01.2018 22.01
- http://dent.gazi.edu.tr/posts/download?id=65076 **Erişim Tarihi:** 09.01.2018 23.05
- http://moodle.baskent.edu.tr/pluginfile.php/10025/mod_resource/content/0/odevler/relativity2.pdf **Erişim Tarihi:** 09.01.2018 23.28

- http://www.physics.metu.edu.tr/~btekin/parcacik.pdf **Erişim Tarihi:** 17.01.2018 23.46
- http://www.physics.metu.edu.tr/uploads/Admission.ADM-146/6-BB-EvrenGenisl-BilUt195-ey10.pdf **Erişim Tarihi:** 16.01.2018 21.45
- http://web.itu.edu.tr/kcankocak/docs/Supersimetri_cankocak_yeni.pdf **Erişim Tarihi:** 13.01.2018 20.10
- http://haber.sakarya.edu.tr/tanri-parcacigi-nedir-h18801.html **Erişim Tarihi:** 11.01.2018 20.12
- http://www.katihal.sakarya.edu.tr/kutuphane/antimadde.htm **Erişim Tarihi:** 18.01.2018 09.30
- http://www.physics.metu.edu.tr/uploads/Admission.ADM-146/8-Antimadde2-BilUt202-nis11.pdf **Erişim Tarihi:** 06.01.2018 11.12
- http://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/antimadde-nedir **Erişim Tarihi:** 11.01.2018 21.11
- http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/tarih/%C3%9Cnl%C3%BCler.pdf **Erişim Tarihi:** 13.01.2018 21.45
- http://www.hisam.hacettepe.edu.tr/isgsemp2016/Radyasyon_Alanlarinda_Radyasyon_Guvenligi_ve_Is_Guvenligi.pdf **Erişim Tarihi:** 14.01.2018 22.52
- http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/posterler/fizikte_birlestirme_kuramlari-i_poster.pdf **Erişim Tarihi:** 05.02.2018 23.52
- http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48966/28474/nano_3_(13_10_2015).pdf **Erişim Tarihi:** 09.02.2018 22.52

GÖRSEL KAYNAKÇA

1. ÜNİTE: ÇEMBERSEL HAREKET

Kitap kapağı: shutterstock_43839517.jpg, shutterstock_75159733.jpg, shutterstock_106227293.png, shutterstock_152202584.jpg, shutterstock_281485301.jpg, shutterstock_490675573.jpg

Ünite Kapağı: shutterstock_650055880

1. **Bölüm kapağı:** dreamstime_l_44722152 Görsel 1.**1:** dreamstime_m_34980 Görsel 1.**2:** dreamstime_xxl_15599184 Görsel 1.**3:** a) shutterstock_703188346 b) shutterstock_119852509 c) shutterstock_628209074 Görsel 1.**4:** shutterstock_759073903 Görsel 1.**6:** shutterstock_620978636 Görsel 1.**7:** shutterstock_651212332
2. **Bölüm kapağı:** dreamstime_xl_67496923 Görsel 1.**8:** shutterstock_687864505 Görsel 1.**9:** shutterstock_300401156 Görsel 1.**10:** shutterstock_586800761 Görsel 1.**11:** shutterstock_239723998 Görsel 1.**12:** shutterstock_719998648 Görsel 1.**13:** shutterstock_771131272 Görsel 1.**14:** shutterstock_429412042 Görsel 1.**15:** shutterstock_624371195 Görsel 1.**16:** dreamstime_xl_12799964 Görsel 1.**17:** dreamstime_l_57929059
3. **Bölüm kapağı:** shutterstock_546651040
4. **Bölüm kapağı:** shutterstock_365590127 Görsel 1.**21:** shutterstock_561119941 Görsel 1.**22:** shutterstock_383756191
5. **Bölüm kapağı:** dreamstime_xl_81713782 Görsel 1.**24:** dreamstime_xl_20293440

Görsel Tasarımcılar Tarafından Hazırlanan Görseller

Görsel 1.**5:** a ve b Görsel 1.**18:** Görsel 1.**19:** Görsel 1.**20:** **1. Etkinlik:** Görsel I ve Görsel II

Genel Ağ Adresleri

Görsel 1.**5:** a ve b http://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/trafik/tehlikeuyariisaretleri.aspx
Görsel 1.**23:** http://www.bik.gov.tr/turkiye-uzayda-da-buyuyor/ (16.01.2018 23.55)

2. ÜNİTE: BASİT HARMONİK HAREKET

Ünite Kapağı: dreamstime_xxl_40497066

1. Bölüm kapağı: dreamstime_xxl_22882601 Görsel 2.**1:** dreamstime_xxl_16517374 Görsel 2.**2:** shutterstock_218399074 Görsel 2.**3:** dreamstime_xxl_57268507 Görsel 2.**4:** shutterstock_752116186 Görsel 2.**5:** shutterstock_693032917 Görsel 2.**6:** shutterstock_738107464

3. ÜNİTE: DAGLA MEKANİĞİ

Ünite kapağı: shutterstock_88852735

1. Bölüm kapağı: shutterstock_525438055 Görsel 3.**1:** shutterstock_196919741 Görsel 3.**2:** shutterstock_581444137 Görsel 3.**3:** shutterstock_387507988 Görsel 3.**4:** dreamstime_xxl_11046033 Görsel 3.**7:** shutterstock_224171713 Görsel 3.**9:** dreamstime_xxl_19098218 Görsel 3.**10:** shutterstock_754536154

2. Bölüm kapağı: shutterstock_101798344 Görsel 3.**11:** dreamstime_xxl_21584849 Görsel 3.**12:** dreamstime_xxl_12545582 Görsel 3.**13:** shutterstock_551106277 Görsel 3.**14:** dreamstime_xxl_37096854 Görsel 3.**15:** shutterstock_114035947 Görsel 3.**16:** dreamstime_xxl_12877999 Görsel 3.**17:** shutterstock_615333794 Görsel 3.**18:** dreamstime_xxl_22648162 Görsel 3.**19:** shutterstock_97990253 Görsel 3.**20:** shutterstock_539361220 Görsel 3.**21:** shutterstock_716852656 Görsel 3.**22:** dreamstime_xxl_1221942 Görsel 3.**23:** dreamstime_xxl_19391227 Görsel 3.**24:** dreamstime_xxl_3172683 Görsel 3.**25:** shutterstock_591311693

Görsel Tasarımcılar Tarafından Hazırlanan Görseller

Görsel 3.**26:** dreamstime_2904593 den yararlanılarak hazırlanmıştır.

Genel Ağ Adresleri

Görsel 3.**5:** http://blogs.bu.edu/ggarber/archive/bua-py-25/waves-and-sound/interference/ (17.01.2018 00.12) Görsel 3.**6:** https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/physical/waves/sea-states (17.01.2018 00.15) Görsel 3.**8:** https://www.uh.edu/engines/epi3024.htm (17.01.2018 00.17)

4. ÜNİTE: ATOM FİZİĞİ VE RADYOAKTİVİTE

Ünite Kapağı: shutterstock_93523195

1. Bölüm kapağı: shutterstock_350817035 Görsel

2. Bölüm kapağı: shutterstock_307424684 Görsel 4.**8:** shutterstock_353117663 Görsel 4.**9:** shutterstock_171639761 Görsel 4.**10:** shutterstock_156889409

3. Bölüm kapağı: shutterstock_266546210 Görsel 4.**12:** dreamstime_xxl_26905248 Görsel 4.**13:** shutterstock_251930719 Görsel 4.**14:** shutterstock_318473210 Görsel 4.**15:** shutterstock_183286163

Genel Ağ Adresleri

Görsel 4.**1:** http://yunus.hacettepe.edu.tr/~sacit08/john_dalton.htm Görsel 4.**2:** http://kiss.caltech.edu/Tolman-Bacher/people.html Ggörsel 4.**3:** http://www.physics.umd.edu/courses/Phys420/Spring2002/Parra_Spring2002/Images/Physicists_Big/Schroedinger_Big.jpg Görsel 4.**4:** https://www.geol.umd.edu/sgc/lectures/tyranny.html Görsel 4.**5:** http://fenbilens.omu.edu.tr/degisken/tarihte-yerinizi-alin Görsel 4.**6:** http://fenbilens.omu.edu.tr/degisken/tarihte-yerinizi-alin Görsel 4.**7:** http://fenbilens.omu.edu.tr/degisken/tarihte-yerinizi-alin Görsel 4.**11:** http://www.akkunpp.com/

5. ÜNİTE: MODERN FİZİK

Ünite Kapağı: shutterstock_390260554

1. Bölüm kapağı: shutterstock_257847872

2. Bölüm kapağı: shutterstock_233297155 Görsel 5.**3:** shutterstock_93387163 Görsel 5.**4:** shutterstock_272708921 Görsel 5.**5:** shutterstock_518880490 Görsel 5.**6:** shutterstock_123966952

3. Bölüm kapağı: shutterstock_604692272 Görsel 5.**8:** shutterstock_230836387 Göresl 5.**9:** shutterstock_18187426 Görsel 5.**10:** shutterstock_771234160

4. Bölüm kapağı: shutterstock_184503020 Görsel 5.**12:** shutterstock_173613611

Genel Ağ Adresleri

Görsel 5.**1:** https://www.syg.edu.ee/~peil/10_fla/4/michelson_morley.jpg Görsel 5.**2:** https://www.syg.edu.ee/~peil/10_fla/4/michelson_morley.jpg Görsel 5.**7:** http://www.sjsu.edu/faculty/watkins/cosmology.htm Görsel 5.**11:** http://libguides.wustl.edu/c.php?g=338660&p=2280710 Görsel 5.**13:** http://www.physics.umd.edu/courses/Phys420/Spring2002/Parra_Spring2002/Images/Physicists_Big/Broglie_Big.jpg

6. ÜNİTE: MODERN FİZİĞİN TEKNOLOJİDEKİ UYGULAMALARI

Ünite Kapağı: shutterstock_107118563

1. Bölüm kapağı: shutterstock_701825926 Görsel 6.**1:** a) shutterstock_103792316 b) shutterstock_63034840 c) shutterstock_780872536 Görsel 6.**2:** dreamstime_xxl_1221942 Görsel 6.**3:** shutterstock_641920864 Görsel 6.**4:** shutterstock_390956821 Görsel 6.**5:** shutterstock_745399780 Görsel 6.**6:** shutterstock_59990779 Görsel 6.**7:** shutterstock_725950936 Görsel 6.**8:** shutterstock_703334083 Görsel 6.**9:** shutterstock_146483006 Görsel 6.**10:** shutterstock_755407714 Görsel 6.**11:** a) shutterstock_738861688 b) shutterstock_304189070 c) shutterstock_394290025 Görsel 6.**12:** shutterstock_634561898 Görsel 6.**13:** shutterstock_541800829 Görsel 4.**14:** shutterstock_316655045 Görsel 6.**15:** shutterstock_777213487

2. Bölüm kapağı: shutterstock_557905726 Görsel 6.**16:** a) shutterstock_413733046 b) shutterstock_264982280 Görsel 6.**17:** shutterstock_124138480 Görsel 6.**19:** a) shutterstock_752659228 b) shutterstock_420099403 Görsel 6.**20:** a) shutterstock_145023694 b) shutterstock_226002676 c) shutterstock_348061520 Görsel 6.**21:** shutterstock_70107130 Görsel 6.**22:** a) shutterstock_176577212 b) shutterstock_472217482

3. Bölüm kapağı: shutterstock_587948915 Görsel 6.**23:** shutterstock_223876228 Görsel 6.**24:** shutterstock_267500276 Görsel 6.**25:** shutterstock_725950936

4. Bölüm kapağı: shutterstock_54646582 Görsel 6.**27:** shutterstock_128532809 Görsel 6.**28:** a) shutterstock_357072983 Görsel 6.**29:** a) shutterstock_558997144 b) shutterstock_302928620 Görsel 6.**30:** shutterstock_109646201 Görsel 6.**31:** shutterstock_61226728 Görsel 6.**32:** shutterstock_467404253 Görsel 6.**33:** shutterstock_572859199 Görsel 6.**34:** shutterstock_148062986 Görsel 6.**35:** shutterstock_606851441 Görsel 6.**36:** shutterstock_395132050 Görsel 6.**37:** shutterstock_606093281 Görsel 6.**38:** shutterstock_566190880

5. Bölüm kapağı: shutterstock_747280780 Görsel 6.**39:** shutterstock_264143618 Görsel 6. **40:** shutterstock_30032617 Görsel 6.**41:** shutterstock_147246176 Görsel 6.**42:** shutterstock_504541267

Genel Ağ Adresleri

Görsel 6. **18:** http://www.frm.utn.edu.ar/webgraduados/index.php/hoy-recordamos/560-29-de-noviembre-1848-nace-john-ambrose-fleming-el-padre-del-diodo-y-precursor-de-la-electronica Göresl 6.**26:** https://home.cern/about/updates/2014/12/cerns-large-hadron-collider-gears-run-2 Görsel 6.**28:** b) https://cse.wwu.edu/amsec/bruker-bioscope-catalyst-atomic-force-microscope

Karekod Uzantıları

Sayfa **49:** https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/hydrogen-atom

Sayfa **58:** https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits_en.html

Sayfa **95:** https://phet.colorado.edu/sims/pendulum-lab/pendulum-lab_en.html

Sayfa **110:** https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/quantum-wave-interference

Sayfa **119:** https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/quantum-wave-interference

Sayfa **124:** https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/quantum-wave-interference

Sayfa **148:** http://www.eba.gov.tr/video/izle/025877ae2479e5656411f87193f530cf2d63c81ed6007

Sayfa **149:** https://phet.colorado.edu/tr/simulation/hydrogen-atom

Sayfa **200:** https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_en.html

Sayfa **207:** https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/photoelectric

Sayfa **244:** https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/semiconductor

Sayfa **264:** https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/lasers